

Г. Хакен

ТАЙНЫ ПРИРОДЫ

Синергетика:
наука о взаимодействии



Hermann Haken

Erfolgsgeheimnisse der Natur

Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken



Rowohlt

Г. Хакен

ТАЙНЫ ПРИРОДЫ

Синергетика: учение о взаимодействии

Перевод с немецкого А. Р. Логунова



Москва ♦ Ижевск

2003

Интернет-магазин
MANIFESTS

<http://shop.rcd.ru>

- физика
 - математика
 - биология
 - техника
-

Хакен Г.

Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 320 стр.

Книга представляет собой перевод на русский язык знаменитой «Тайны природы» Германа Хакена. Ее первейшая цель — донести до читателя идеи синергетики, позволяющие познать удивительные, необычайно разнообразные, организованные структуры, созданные самой природой.

Для самого широкого круга читателей.

ISBN 5-93972-230-X

© Перевод на русский язык,

Институт компьютерных исследований, 2003

© Deutsche Verlags-Ansalt GmbH, 1992

<http://rcd.ru>

Об этой книге

Природа — и прежде всего, растительный и животный мир — вновь и вновь поражает нас разнообразием своих форм и изяществом их структур, взаимодействие отдельных элементов которых исполнено глубочайшего смысла. Как возникают эти структуры, какие силы порождают их? Решение этих вопросов — главная задача СИНЕРГЕТИКИ, основоположником которой является автор данной книги, Герман Хакен.

Синергетика — это область междисциплинарных исследований, ведь изучаемые ею явления вездесущи, и занимаются ими представители многих наук: физики, химии, биологии, психологии, истории, политики и экономики. В предисловии к этому переработанному и расширенному изданию автор пишет: «Синергетика — в высшей степени живая наука. Для меня очень важно донести до читателя ее идеи и показать, как эти идеи становятся основой для интерпретации процессов самоорганизации. Последнее десятилетие принесло нам множество удивительных открытий, сделанных благодаря использованию принципов синергетики, и я не сомневаюсь в том, что исследователи самоорганизующихся комплексных систем находят еще только в самом начале долгого интересного пути.»

Оглавление

Предисловие к переработанному изданию	10
Предисловие к первому изданию	13
ГЛАВА 1. Введение и обзор	16
Почему эта книга может показаться вам интересной	16
Стремление к созданию единой картины мира	18
Анализ и синтез	20
Противоречат ли биологические структуры основополагающим законам природы?	21
ГЛАВА 2. Тепловая смерть Вселенной	29
Улица с односторонним движением	29
Что такое неупорядоченность?	30
Деградация энергии	34
ГЛАВА 3. Кристаллы	37
Сверхпроводимость и магнетизм	39
Фазовые переходы: от хаоса к порядку и обратно	43
ГЛАВА 4. Ячеистые структуры в жидкости	47
Ступенчатые конфигурации	61
ГЛАВА 5. Да будет свет — лазерный свет	66
Свет свету рознь	66
Самоорганизация в лазере	71
Лазер: открытая система с фазовым переходом	73
ГЛАВА 6. Химические структуры	78
Химический «марьяж»	78
Химические часы	80
Химические волны и спирали	81
Новый универсальный принцип	84
ГЛАВА 7. Биологическая эволюция	86
Конкуренция между биомолекулами	90

ГЛАВА 8. Как выжить, не будучи сильнейшим?	92
ГЛАВА 9. Формирование биологических организмов	102
Передача наследственной информации	102
Образование биологических форм	106
Микроскопические структуры на молекулярной основе	110
ГЛАВА 10. Биологические паттерны движения	116
ГЛАВА 11. Неизбежность конфликтов	125
Проверьте свое душевное состояние	127
Жизнь полна конфликтов	129
Перенос конфликтов в социальной сфере	131
ГЛАВА 12. Хаос, случайность и механистическая картина мира	134
Предопределено — или случайно?	134
Предопределено — и случайно!	135
Игровые автоматы: запланированный хаос	139
Север не всегда был севером	140
Хаос в синергетике	141
Предсказуема ли погода, или Маленькие хитрости Святого Петра	143
Можно ли приручить плазму? — Хаос в термоядерных реакциях	144
ГЛАВА 13. Теория хаоса: взгляд за кулисы	149
Приручение хаоса	158
Исследователь хаоса в роли пророка	159
ГЛАВА 14. Синергетические эффекты в экономике	163
Торговля мороженым на пляже	165
Почему растут города?	167
Управление бизнесом: делаем то, что делают конкуренты?	169
Экономическое благоденствие и экономический упадок — две стороны одной медали	171
Технические новинки и инновации — вечный двигатель экономики	172
Внезапные коллективные изменения в экономической жизни	179
Экономика сложнее, чем полагал Адам Смит	182
Государственное управление экономикой: проклятие или благословение?	182
Экономический хаос как следствие управления в отсутствие понимания	185
Мир во всем мире: экономический аспект	186
Синергетические эффекты: смысл и бессмыслица	187

Постижение законов синергетики: все во имя человека, все на благо человека	188
ГЛАВА 15. Предсказуемы ли революции?	189
Общественное мнение в роли параметра порядка	189
Внушаемы ли люди?	193
Механизм смены взглядов	197
Средства массовой информации: параметр порядка под гнетом отбора	198
Уменьшение мира	203
Власть телевидения	205
Правительство и общественное мнение	206
Диктатура	209
Общественное мнение и проблемы меньшинств	211
Революции	212
Еще раз об универсальных принципах	217
О бюрократии	218
ГЛАВА 16. О галлюцинациях и теориях деятельности мозга	221
«Бабушкины клетки»	222
Процессы возбуждения в мозге: гипотезы и эксперименты	225
Особенности процесса мышления	231
Материя и Дух	232
Рост мозга	233
ГЛАВА 17. Эмансипация компьютеров: благо или кошмар?	236
Вундеркинд двадцатого века	236
Программирование	238
Компьютерные сети	241
Распознавание образов	244
Восприятие и синергетический компьютер	248
Внутренний мир компьютера	254
Чистая логика: независимость от субстрата	261
Нейрокомпьютер и синергетический компьютер	263
Свойственны ли компьютерам капризы и причуды?	264
Компьютеры и долгосрочное прогнозирование	267
ГЛАВА 18. Динамика научного познания мира	269
Конкуренция среди научных журналов	280
Синергетика о синергетике	282

ГЛАВА 19. Итоги	287
Новый принцип	287
От неживой природы к природе живой	289
Лед, пламень и жизнь между ними	290
Еще одно характерное свойство жизни	291
Границы познания	292
Приложение	295
Список литературы и примечания	295
Источники иллюстраций	307
Предметный указатель	310

Предисловие к переработанному изданию

Книга, которую Вы держите в руках, можно сказать, уже пережила немалый успех: впервые опубликованная в 1981 году издательством *Deutschen Verlags-Anstalt*, она выдержала несколько переизданий, а затем дважды появилась в карманной серии *Ullstein*. Параллельно с этим увидели свет и ее переводы на китайском, английском, итальянском, японском и испанском языках. На предложение господина Петерсена подготовить эту книгу для издания в *Rowohlt* я согласился с воодушевлением: это означало, что написанное мною много лет назад остается-таки актуальным до сих пор, и одновременно давало естественный повод проверить, до какой степени актуальным. Синергетика, помимо всего прочего, дает полное понимание того, что в определенных ситуациях даже небольшие изменения внешних условий могут приводить к внезапным и радикальным изменениям в системе. Насколько это положение соответствует духу времени, можно видеть на примере, скажем, такого понятия, как «глобальная климатическая катастрофа».

Представленные в предыдущих изданиях основополагающие результаты остались неизменными, однако за прошедшее время синергетика была внедрена во многие новые области науки, что и нашло свое отражение в последующих главах. Одна из таких глав — десятая — посвящена координации движений, важному направлению в физиологических исследованиях, и имеющему огромное значение при решении вопросов, связанных, например, с реабилитацией. Читатель сможет убедиться, что и здесь синергетика предоставляет нам основу для переосмысления многих процессов.

К уже существовавшей ранее главе о хаосе я добавил еще одну, освещающую теоретические положения этой отрасли науки. Это показалось мне тем более уместным, что о теории хаоса написано и сказано уже немало глупостей — особенно в некоторых средствах массовой информации. Благодаря этой новой главе становится также ясно, насколько тесно связана возникшая недавно теория хаоса с уже существующей синергетикой, и что

многое из того, что сегодня приписывают теории хаоса, уже было открыто и исследовано в рамках синергетики.

В книге появились также главы, посвященные нейрокompьютерам и синергетическим компьютерам, которые открывают новый путь к объяснению феномена человеческого восприятия. Здесь же проясняются и существующие между синергетикой и теорией гештальта взаимоотношения, о которых уже упоминали Петер Крузе и Михаэль Штадлер, а также автор настоящей книги. Чтобы представить все новые результаты, полученные благодаря использованию синергетических законов, потребовалось бы издать целое собрание научных трудов: свидетельство тому — насчитывающая уже сейчас 63 тома серия книг, выпускаемая издательством *Springer*. Естественно, в рамках столь небольшого по объему издания мне часто приходилось ограничивать себя лишь короткими ссылками — например, на новые теории управления. Некоторые актуальные направления исследований представляются чрезвычайно многообещающими, однако они настолько новы, что, пожалуй, им пока еще не место в книге, рассчитанной на широкого читателя. Сюда можно отнести работы Г. Шипека, В. Чахера, Э. Й. Бруннера и других авторов, занимающихся исследованиями в области клинической психологии и психиатрии или анализом, с точки зрения синергетики, поведения групп на автомобильном производстве, как это делает Рут Байзель. За рамками книги оказались и те чисто технические направления, которые могут заинтересовать лишь специалистов, оставив других читателей равнодушными — например, исследования новых полупроводниковых элементов, основанных на синергетических принципах и называемых синисторами.

Из этих коротких пояснений читатель, очевидно, уже получил представление о том, насколько живой и гибкой наукой является синергетика: здесь может обнаружиться множество важных связей между такими отраслями знания, которые на первый взгляд кажутся никак не связанными друг с другом. Я не поддался искушению превратить это карманное издание в энциклопедию; гораздо важнее для меня было при помощи отобранных примеров донести до читателя смысл основных понятий синергетики и показать, как эти понятия снова и снова становятся фундаментом для интерпретации процессов самоорганизации.

Прошедшее десятилетие принесло нам множество удивительных открытий, сделанных благодаря использованию принципов синергетики, и я не сомневаюсь в том, что исследователи самоорганизующихся комплексных систем находятся еще только в самом начале долгого интересного пути.

Я благодарен госпоже Ирмгард Мёллер за быструю и тщательную работу при подготовке дополнений к этой книге, а также доктору Марку Нейфельду и г-ну Андреасу Даффертсхоферу — за работу с новыми иллюстрациями.

*Штутгарт,
осень 1994 года*

Герман Хакен

Предисловие к первому изданию

Природа — и прежде всего, растительный и животный мир — вновь и вновь поражает нас разнообразием своих форм и изяществом их структур, взаимодействие отдельных элементов которых исполнено глубочайшего смысла. Прежде люди видели во всем этом проявление божественной сущности. Сегодняшняя наука ищет в первую очередь ответы на другие вопросы: как возникают эти структуры? какие силы порождают их? Еще совсем недавно казалось, что подобная постановка вопросов — подразумевающая, помимо прочего, самозарождение структур — противоречит всем физическим принципам. Настоящая книга призвана произвести поворот в нашем мышлении, причем начнем мы с осознания того, что и в мире неживой природы новые упорядоченные структуры могут возникать из неупорядоченного хаоса и сохраняться неизменными при наличии постоянного притока энергии. В книге читатель найдет в высшей степени наглядные этому подтверждения из физики и химии: например, принцип действия лазера, возникновение ячеистых структур в нагреваемой жидкости, химические спиральные волны. Как становится ясно уже из названных примеров, процессы образования новых структур подчинены неким всеобщим закономерностям. Это позволяет нам перейти к более сложным проблемам, например к вопросу о том, каким образом происходит рост животных клеток, или о том, как взаимоотношения отдельных коммерческих предприятий могут определять общую экономическую картину, или же попытаться разобраться в том, по каким правилам происходит формирование общественного мнения. Каждый из перечисленных процессов характеризуется тем, что в нем принимает участие огромное количество отдельных элементов, так или иначе взаимодействующих между собой, и взаимодействие это исполнено глубокого смысла. Мы, таким образом, имеем дело с комплексными системами, которые можно рассматривать с разных точек зрения: и исследуя поведение и функции отдельных элементов такой системы, и занимаясь преимущественно системами в целом. В первом случае следует исходить из того, что закономерности, в соответствии с которыми существует та или иная система, определяют — подобно правилам игры — поведение отдель-

ных ее элементов, что, в конечном счете, и порождает некий шаблон или эталон поведения; процесс этот очень выразительно описан в книге Манфреда Эйгена и Рутхильд Винклер «Игра» (*Piper*, 1976).

Синергетика — иначе, «наука о взаимодействии» — идет другим путем. Здесь нас зачастую интересуют не отдельные «правила», определяющие образ действия элементов системы, а общие законы, по которым формируются структуры. И хотя всякое сравнение хромает, все же рискнем прибегнуть к метафоре, проведя аналогию с игрой в шахматы. Мы можем снова и снова играть в шахматы, следя при этом за движением фигур на доске; но мы можем и попытаться предсказать исход игры, что в данном случае оказывается совсем не сложно: либо победа достанется белому королю, либо черному, либо ни тому, ни другому (такую никому не принадлежащую победу принято называть «ничьей»). Хотя последовательность отдельных ходов может быть в высшей степени сложной, общий результат игры можно описать буквально в трех словах. То же относится и к исследуемым нами образованиям: нас прежде всего интересуют общие шаблоны, эталонные структуры, образующиеся в результате сложных процессов. Применимость полученных нами данных о коллективном поведении не ограничивается областью чистого научного знания, они имеют самое непосредственное отношение к нашей повседневной — как экономической, так и общественной — жизни. Однако настоящая книга не предлагает готовых решений. Она, скорее, предназначена для придания мышлению некоторого толчка, а отнюдь не представляет собой патентованное руководство к действию. Более того, мы даже выдвинем в качестве тезиса положение о том, что однозначные решения зачастую невозможны, и докажем это, пролив вместе с тем свет на самую суть конфликтов и способов их преодоления.

В настоящее время синергетика находится в стадии бурного развития, о чем свидетельствует как растущее число международных конференций, так и то, что синергетика пользуется столь надежной финансовой поддержкой со стороны государства. Издательство *Springer* выпускает серию научных трудов «Springer Series in Synergetics», целиком посвященную синергетике. Целью же данной книги должно стать знакомство широкого круга заинтересованных читателей с новой, увлекательной областью науки.

В наше время много говорят об «ответственности ученых перед обществом». На мой взгляд, наука и общество живут в неразрывном симбиозе, и общество так же жизненно необходимо науке, как и наука обществу; каждый шаг, ведущий к их сближению, безусловно, важен, однако ученому не так-то просто «отдать свой долг» — и дело тут, конечно, не в отсутствии

доброй воли, а скорее в том, что язык науки (а особенно — математики) настолько отличен от общепринятого, «разговорного» языка, что перевод с одного языка на другой становится весьма и весьма непростой задачей. Несмотря на это, я хотел бы подчеркнуть, что описываемый и исследуемый какой бы то ни было наукой процесс только тогда можно считать абсолютно понятным учеными, когда о нем можно рассказать, используя лишь слова «разговорного» языка, не прибегая к формулам. Именно необходимость быть понятным не только специалистами и дает ученому шанс увидеть предмет своих исследований во всей полноте его взаимосвязей с окружающим миром.

Я надеюсь, что мое изложение основ новой науки даст каждому, кто прочтет эту книгу, возможность использовать знание тайн Природы с пользой для себя и во благо всему человечеству.

Я хочу выразить благодарность своей жене за критическое прочтение рукописи и ценные предложения, способствовавшие улучшению книги. Я благодарен также госпоже Урсуле Функе за быструю и безупречную подготовку рукописи и за ее старание и энтузиазм, которые очень помогли мне благополучно дописать до конца эту книгу.

Я благодарен и сотрудникам издательства *Deutsche Verlags-Anstalt* — а в особенности доктору Лебе и г-же Локе — за активное сотрудничество.

*Штутгарт,
весна 1981 года*

Герман Хакен

ГЛАВА 1

ВВЕДЕНИЕ И ОБЗОР

Почему эта книга может показаться вам интересной

Наш мир состоит из множества разнообразнейших вещей: некоторые из них созданы человеком — дома, автомобили, инструменты, картины и т. п., — но остальные сотворены Природой. Для ученого этот мир вещей является миром структур, упорядоченных в соответствии со строгими закономерностями. Если направить телескопы на неизмеримые дали космического пространства, мы увидим спиралевидные туманности, подобные изображенным на фотографии (рис. 1.1). Здесь хорошо различимы спиральные рукава, благодаря которым туманность и получила свое имя. В этих газовых туманностях рождаются новые солнца — невообразимое количество новых ярких солнц. Наше Солнце и наша Земля тоже принадлежат такой туманности — Млечному Пути, хорошо видимому на небе в ясные ночи. Наше Солнце — лишь одно из ста миллиардов солнц, входящих в Млечный Путь. Земля вместе с другими планетами вращается вокруг Солнца по орбитам, подчиняясь строгим законам небесной механики.

Упорядоченные структуры можно обнаружить не только в космосе. Оглянитесь вокруг, и вашему взору откроется бесконечное разнообразие таких структур: приведем в качестве примера исполненную благородства форму самой обыкновенной снежинки (рис. 1.2). Живая природа вновь и вновь поражает нас своим изобилием, причем формы, в которых оно выражается, могут быть порой совершенно невероятными. На иллюстрации 1.3 вы видите увеличенное изображение глаза тропической мухи: он располагается на особом стебельке, растущем на голове мухи. Упорядоченная структура, напоминающая пчелиные соты, в высшей степени функциональна: благодаря такому строению глаза муха обладает совершенной системой кругового обзора. Гармония, присущая многим животным и растениям, часто приводит нас в восхищение. Немыслимое разнообразие форм, наблюдаемых в природе, завораживает то своей исключительной целесообразностью, то —

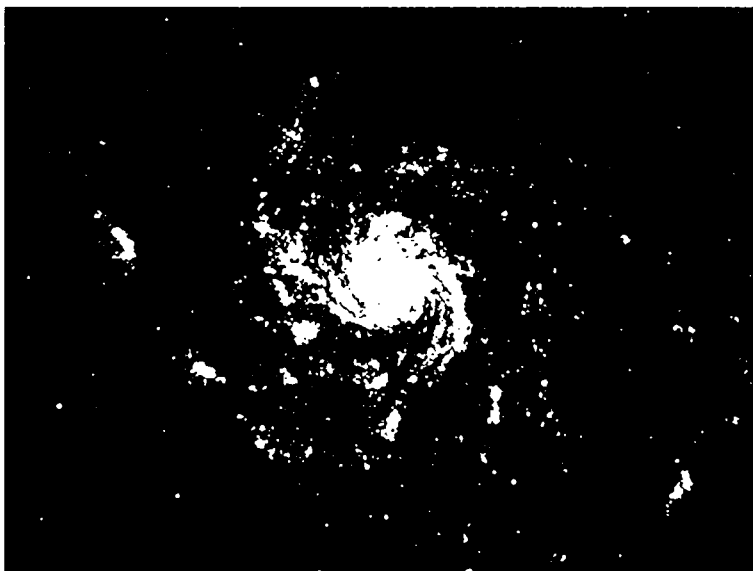


Рис. 1.1. Спиралевидная туманность

вспомните о великолепии цветов — игривой беспечностью и причудливостью.

Однако в изумление нас повергают не только неподвижные структуры, подобные вышеупомянутым. Не меньший восторг могут вызвать танец, исполненный грации, или красота бега лошади. Жизнь человеческого общества тоже демонстрирует немалое разнообразие структур: как в политической (например различные формы государственного устройства), так и в чисто духовной сфере человеческой деятельности обнаруживается структурированность — в языке, в музыке и, наконец, в науке. Таким образом, мир вокруг нас изобилует всевозможными структурами: начиная с тех, которые мы встречаем в природе, и заканчивая теми, что присущи разумной жизни; мы настолько привыкли к структурам, что зачастую уже не осознаем, каким чудом является само их существование.

Люди прошлых веков воспринимали все это как проявление божественной воли и подтверждение тому — история создания нашего мира, изложенная в Ветхом Завете. Наука тоже долгое время была занята лишь вопросами



Рис. 1.2. Снежинка

Рис. 1.3. Глаз тропической мухи *Diopsis thoracica*. Обратите внимание на гексагональную структуру поверхности глаза.

строния — но не возникновения! — структур, существующих вокруг нас. Интерес к тому, каким же образом могли возникнуть все эти структурные образования, появился и окреп только в новейшее время. Если наука желает избежать необходимости всякий раз для объяснения сути вещей обращаться за помощью к сверхъестественным силам и актам творения, она первым делом должна объяснить природу самозарождения и развития структур — иными словами, суть процессов самоорганизации.

Стремление к созданию единой картины мира

Если мы, осознавая все бесконечное разнообразие окружающих нас структур, решим выяснить, как же они возникли, то окажемся перед невыполнимой, на первый взгляд, задачей. Уже попытки каким-либо образом классифицировать обнаруженные структуры потребовали (и продолжают требовать) огромных затрат времени и сил многих поколений исследователей — возможно ли пройти этот путь до конца? да и стоит ли овчинка

выделки? Действительно, будь строение каждой отдельной структуры подчинено особым, свойственным ей одной, законам, нечего было бы и думать о том, чтобы описать все это в одной книге — для этого потребовалась бы целая библиотека невообразимых размеров.

Здесь на сцену выходит идея, являющаяся, собственно, движущей силой всякой науки. Наука призвана не просто собирать фактический материал, но и стремиться создать целостную картину мира, целостное мировоззрение. Особенно ярко это стремление проявляется в области естественных наук — например в физике, химии или биологии, — однако не менее известны и попытки, предпринятые философами. Все мы хорошо знаем о поисках физиками фундаментальных законов мироздания. Механика Исаака Ньютона (1643–1727) и его закон всемирного тяготения дают нам возможность описать движение планет вокруг Солнца — движение, для которого в древности не существовало единого объяснения. Благодаря Джеймсу Клерку Максвеллу (1831–1879) нам стало известно, что свет представляет собой не что иное, как электромагнитные колебания, подобные радиоволнам. Альберту Эйнштейну (1879–1955) удалось связать тяготение, пространство и время. Химик Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907) впервые упорядочил многообразие существующих в природе веществ, создав периодическую систему химических элементов. В современной атомной физике периодическая система Менделеева может считаться воплощением основного закона строения атомов. В биологии, в соответствии с открытыми Менделеем законами, происходит передача от поколения к поколению наследственных признаков при скрещивании, к примеру, растений с различной окраской цветков. Уже в наше время были обнаружены химические механизмы такой передачи, происходящей благодаря гигантским молекулам дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

Как показывают эти примеры (а их количество можно было бы многократно умножить), человечество неустанно ищет и находит все новые и новые законы, единые для всех происходящих в природе процессов.

В то время как явления самого разнообразного свойства усилиями ученых сводятся, наконец, воедино как проявления неких законов природы, исследователи обнаруживают совершенно новые факты, касающиеся еще более сложных явлений, и порой наука оказывается близка к полному погребению под лавиной добываемых учеными сведений. Отсюда — бесконечная «гонка», борьба между потоком новых фактов и стремлением ученых эти факты систематизировать, понять и соотнести с действием единых законов мироздания.

Анализ и синтез

Какими же, собственно, возможностями для изучения структур и протекающих в них процессов мы располагаем? Излюбленным и, пожалуй, используемым чаще прочих способом является разложение изучаемого объекта на все более мелкие составляющие. Так физик обнаруживает, что кристалл (к кристаллам мы еще вернемся в главе 3) состоит из атомов, атомы же, в свою очередь, разделяются на меньшие элементы — протоны и электроны. Одно из важнейших направлений современных физических исследований связано как раз с изучением «элементарных» частиц (кварков и глюонов), которые, вполне возможно, все еще не являются последними, «наизыментарнейшими» частицами материи. Биолог препарирует клетки ткани, добираясь до составляющих их элементов: клеточных мембран и ядер, а затем и далее — до биомолекул. Перечень такого рода «разложений» можно дополнить примерами из других отраслей науки . . . да и сама наука, собственно, тоже уже «разложена» на математику, физику, химию, и т. д. — вплоть до социологии и психологии.

Метод разложения на составляющие уподобляет исследователя ребенку, получившему в подарок игрушечный автомобильчик: стремясь разобраться в том, что заставляет машинку двигаться, малыш разбирает ее на составные части — что, в общем-то, обычно удается сделать без особого труда. Заканчивается это исследование чаще всего тем, что ребенок, плача, сидит перед кучей деталей, будучи не в состоянии ни понять, почему же все-таки двигался автомобиль, ни собрать детали обратно, вернув игрушке былую целостность и работоспособность. Так ребенок приближается к пониманию смысла фразы «целое — это всегда больше, чем сумма его составляющих», или, воспользовавшись словами Гёте, «Вот части все в его руках, однако им — увы и ах! — недостает духовной связи!» Для науки это означает следующее: даже разобравшись в общих чертах со строением исследуемой структуры, мы — прежде чем заняться ее «разложением» — должны еще понять, каким образом взаимодействуют друг с другом отдельные элементы, составляющие данную структуру. В дальнейшем мы увидим, насколько тесно это связано с вопросом о возникновении структур. Этими вопросами как раз и занимается синергетика. Само слово «синергетика» происходит от греческого корня (как это часто случается с научными терминами) и означает «наука о взаимодействии». Мы вместе с читателем уже задавались вопросом о том, возможно ли существование единых законов в мире, где царит разнообразие, — законов, позволяющих понять саму природу

ду возникновения структур. Звучит все это, конечно, довольно абстрактно; нельзя не упомянуть также и о том, что точный ответ возможен только в рамках математической теории, область же применения его весьма обширна, что и было мною обнаружено. С другой стороны, именно разнообразие многочисленных примеров, имеющихся в нашем распоряжении, дает нам возможность представить основные процессы с максимальной наглядностью, а отнюдь не абстрактно. Начнем мы с самых простых примеров из механики, но это, разумеется, не означает, что картина мира, которую я намерен представить читателю, окажется механистической. Язык, к примеру, также содержит множество понятий, «заимствованных» из механики. Вдумайтесь, скажем, в слово «равновесие». Перед вашим мысленным взором, скорее всего, предстанут весы, на обеих чашах которых лежат некие предметы одинакового веса, — именно таков изначальный смысл этого слова. Весы неподвижны и уравновешены, т.е. находятся в равновесии. И если то же слово используется для описания душевного равновесия, никому, очевидно, не придет в голову заявить, что наши представления о духовной жизни человека механистичны. Хотелось бы, чтобы читатель вспоминал этот пример как можно чаще: ведь в книге рассматриваются не только структуры, существующие в материальном мире, но также и те, что относятся к миру идей — например к процессам, протекающим в экономике или культуре.

Противоречат ли биологические структуры основополагающим законам природы?

Физика имеет полное право считаться основой естествознания, ведь предметом ее изучения является материя, а так как весь окружающий нас мир материален, то и подчинен он законам, открытым физиками. Однако подобное представление о физике существовало отнюдь не всегда — по крайней мере, среди биологов. Приверженцы витализма выдвигали свою точку зрения: они считали, что всем живым существам свойственна присущая только им совершенно особая жизненная сила. Сегодня, после того как химические процессы удалось описать в терминах физических теорий (касающихся природы химических связей и строения атома), уже едва ли найдутся люди, сомневающиеся в том, что ту же операцию возможно проделать и с процессами биологическими. Подчеркнем — в принципе, так как за этой, на первый взгляд, простой фразой скрывается, как мы позднее увидим, целый комплекс весьма непростых проблем.

Остановимся пока на прежнем — довольно, надо сказать, наивном — утверждении о применимости физических законов к биологии. Еще несколько лет назад, принимая всерьез тезис о том, что биология непосредственно сводима к физике, можно было очень быстро запутаться в возникающих при этом противоречиях. Тогда любой физик на вопрос о том, согласуется ли идея самозарождающейся жизни с основополагающими законами физики, должен был бы честнейшим образом ответить «нет». Почему? Да потому, что основной закон физики — а точнее, термодинамики — гласит, что наш мир последовательно и неумолимо оказывается во власти хаоса: все упорядоченные функциональные процессы должны в конце концов прекратиться, а все порядки — нарушиться и распасться.

Единственный выход из этого тупика многим (и среди них немало компетентных физиков) виделся в том, чтобы рассматривать возникновение в природе упорядоченных структур и состояний как некую грандиозную флуктуацию, вероятность которой, согласно теории, настолько ничтожна, что такой флуктуации и случиться-то не должно было. Идея была поистине абсурдной, однако — как тогда казалось — в рамках так называемой статистической физики единственно приемлемой.

Почему физики столь твердо верили в разрастающийся хаос, будет подробно рассказано в главе 2. Мы увидим, что именно физика и создала первую лазейку, ход для отступления от строгих законов, сделав исключение из правил для таких структур, как, например, кристаллы. Но кристаллы, как известно, не являются живыми существами — они принадлежат миру неживой природы, а происходящие в них процессы не имеют ничего общего с процессами жизнедеятельности. Таким образом, утверждая, что биологические процессы основаны на физических законах, но само возникновение жизни противоречит основополагающим физическим законам, физика зашла в тупик. Выбраться из заколдованного круга помог счастливый случай. Обнаружилось, что у физиков имеется в распоряжении превосходная модель процесса образования до некоторой степени «живого» упорядочения материи, причем возникающий при этом порядок строго соответствует всем физическим законам и — более того! — оказывается возможен исключительно благодаря существованию этих законов. Речь идет о лазере — новом типе источника света, ставшем в последнее время широко известным. Этот пример демонстрирует возможность самоорганизации в неживой материи и возникновения в результате вполне рациональных процессов. Здесь мы сталкиваемся с совершенно замечательной закономерностью, которая красной нитью проходит по всему, что связано с феноменом самоорганизации.

Отдельные элементы системы организуются, словно управляемые невидимой рукой, с другой же стороны, системы, взаимодействуя друг с другом, непрерывно создают эту невидимую руку (рис. 1.4). Назовем такую организующую невидимую руку «организатором». Однако, похоже, мы снова попали в замкнутый круг?

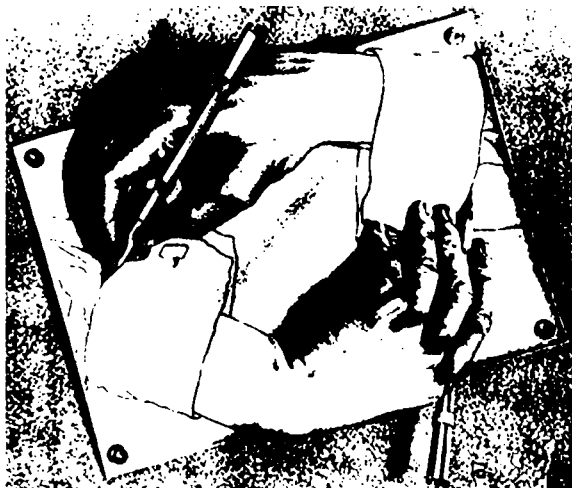


Рис. 1.4. Этот рисунок М. Эшера, изображающий две руки, рисующие одна другую, — иллюстрация фундаментальной проблемы самоорганизации: параметр порядка (одна рука) обуславливает поведение отдельных элементов (другая рука), но при этом его собственное поведение определяется поведением этих самых элементов

Наш «организатор», по сути, является результатом взаимодействия отдельных элементов системы, однако он же и руководит поведением этих отдельных элементов. Напоминает древнюю задачу: что было раньше — курица или яйцо? (О петухе почему-то даже не вспоминают.)

На языке синергетики происходящее описывается следующим образом: параметр порядка подчиняет себе элементы системы. Параметр порядка похож на мастера-кукольника, управляющего марионетками: он заставляет их танцевать, но и они, в свою очередь, имеют над ним власть и оказываются способны им управлять. В дальнейшем мы убедимся, что принцип подчинения играет в синергетике центральную роль. Однако уже сейчас хотелось бы

подчеркнуть, что термин «принцип подчинения» не несет в себе абсолютно никакой эмоциональной нагрузки, и его следует воспринимать совершенно нейтрально. Принцип этот выражает лишь определенный тип взаимосвязи и не имеет ничего общего с подчинением или порабощением в этическом смысле. Так, например, можно сказать, что представители какого-нибудь народа подчинены своему национальному языку.

Исследуя различные явления сначала в физике, затем в химии и, наконец, в биологии с точки зрения, предполагающей существование принципа подчинения и параметра порядка, я снова и снова сталкивался со следующей закономерностью: процессы образования структур всегда протекают в определенном направлении, однако вовсе не в том, какое предсказывает термодинамика, и отнюдь не в сторону увеличения «разупорядоченности». Напротив: элементы системы, прежде неорганизованные, приходят в состояние определенного порядка, и порядок этот подчиняет себе их поведение.

В дальнейшем мы увидим, что та неизбежность, с которой из хаоса возникает порядок, ничуть не зависит от материального субстрата, ставшего сценой для наблюдаемого процесса. В этом смысле лазер ведет себя совершенно так же, как и облачная формация или группа клеток. Очевидно, мы имеем здесь дело с проявлением одного и того же феномена. Есть все основания предполагать, что эта же закономерность действительна и в нематериальной сфере.

В качестве примера обратимся к социологии: поведение целых групп людей оказывается вдруг подчиненным некоей новой идее, будь то свежее веяние в моде, новое духовное течение в культурной жизни, новое направление в живописи или же новый литературный стиль.

Очевидно, что, исследуя эти закономерности, мы вполне можем приблизиться к разгадке многих тайн Природы. Как, к примеру, удастся Природе создание все более и более сложных видов живых существ? Как удастся некоторым из этих видов победить в борьбе за существование и вытеснить другие виды? И с другой стороны: каким образом, несмотря на жесточайшую конкуренцию, различным видам все же удастся выжить и даже больше: самим своим существованием стабилизировать существование другого вида? Рассматривая в этом свете выглядевшие прежде разрозненными феномены, мы начинаем воспринимать их как примеры проявления единой закономерности. То, что до сих пор казалось загадочным, необъяснимым или даже парадоксальным, вдруг становится совершенно ясным. Мы обнаруживаем, что коллективное поведение множества отдельных индивидуумов (будь это атомы, молекулы, клетки, животные или люди) и, в

конечном счете, их собственная судьба определяется ими же самими в ходе их взаимодействия друг с другом: через конкуренцию, с одной стороны, и кооперацию — с другой. Правда, при этом они часто выступают не столько в роли ведущих, сколько ведомых.

В этом смысле синергетику можно рассматривать как науку о коллективном поведении, организованном и самоорганизованном, причем поведение это подчинено общим законам. Когда какая-нибудь наука заявляет об универсальности своих законов, это тотчас же вызывает весьма важные последствия. Синергетика опирается на очень разные дисциплины, среди которых не только физика, химия и биология, но также социология и экономика; можно поэтому ожидать, что открытые и описанные синергетикой закономерности уже так или иначе будут представлены в различных областях науки, и у нас появится возможность увидеть возникновение в свете синергетики новой, единой картины мира, составленной, подобно мозаике, из множества отдельных, собранных наукой фактов.

Не следует забывать и о другом следствии нашего заявления. Из истории науки хорошо известно, насколько опрометчиво рассматривать законы как универсальные. Часто случается так, что законы природы, открытые и доказанные в одной области науки, в рамках дальнейших исследований и при применении в других дисциплинах оказываются весьма приближенными или даже совсем утрачивают свой смысл: так, например, ньютоновская механика является лишь приближением к механике теории относительности Эйнштейна. Классическая механика, описывающая движение макроскопических тел, при переходе в микроскопический мир должна уступить место квантовой механике. В этом смысле и синергетика — в силу того что ее область применения значительно шире — приходит на смену термодинамике. С другой стороны, и сама синергетика может иметь ограничения. Чтобы пояснить это, необходимо четко отделить те результаты, которые синергетика на данный момент уже получила, от ее конечной цели — открытия закономерностей, лежащих в основе самоорганизации систем, изучаемых различными науками. Синергетике уже удалось обнаружить некоторые общие закономерности такого рода, исследуя самые интересные случаи возникновения в природе структур или радикального изменения состояния макроскопических систем. Но что в данном случае означают слова «радикальный» и «макроскопический»? Вместо долгих объяснений используем примеры, которые помогут читателю составить об этих понятиях недвусмысленное представление. В примерах у нас нет недостатка, и я надеюсь,

они введут читателя в курс дела, одновременно познакомив его и с основами синергетического подхода, и с его результатами.

Все жизненные процессы, начиная с внутриклеточных и заканчивая теми, что происходят в человеческом обществе, неизменно связаны и даже переплетены друг с другом, причем все участвующие в этих процессах элементы прямо или опосредованно взаимодействуют между собой. Таким образом, мы постоянно имеем дело с чрезвычайно сложными, комплексными системами. Увеличивающаяся плотность населения и использование передовых технологий приводят к тому, что сложность окружающего нас мира безостановочно возрастает, а вместе с этим возрастает и необходимость понять, от чего зависит поведение комплексных систем. Книга, которую вы читаете, посвящена синергетике — науке, дающей ключ к такому пониманию. Комплексная система похожа на толстую книгу: чтобы по-настоящему понять ее, полностью проникнуть в ее содержание, нужно прочесть эту книгу целиком. Но как быть, если времени на это не хватает? Тогда мы можем действовать по-разному: например, читать книгу выборочно или найти кого-то, кто сможет кратко изложить нам ее содержание. Но и здесь есть сложность: каким образом будет отобран материал для этой выборки или изложения? Ведь подходы к такому делу могут быть очень разными. Для кого-то в книге важнее всего любовная интрига, другого заинтересует представленная там социальная среда. И наконец, саму книгу ведь тоже можно описать одним или несколькими определениями типа «исторический роман» или «детектив».

Остальные оценки столь же неоднозначны; что, к примеру, отличает бестселлеры от книг, годами пылящихся в витринах? И если человеческий мозг (и даже все мозги всех ученых на белом свете, вместе взятые) способен воспринять и усвоить лишь очень ограниченное количество информации, то не следует ли нам поступить с комплексными системами так же, как поступают с чересчур толстой книгой? Заняться только тем в комплексных системах, что для нас важно, значимо — заняться поисками того, что называется релевантной информацией.

Однако даже если мы сумели бы собрать все необходимые данные, это не улучшило, а скорее даже ослабило бы наши способности к суждению: мы перестали бы различать за деревьями лес. Едва ли найдется пословица, более точно передающая суть проблемы, связанной с изучением комплексных систем. Мы должны отбросить маловажные детали. Мы должны научиться видеть и постигать целостность взаимосвязей. Мы должны снизить — «редуцировать» — степень сложности системы.

Как показывает синергетика, релевантную информацию о комплексных системах можно получить, исследуя параметры порядка, которые особенно наглядно проявляются при макроскопических изменениях в поведении системы. Вообще говоря, эти параметры порядка представляют собой величины долгоживущие, они подчиняют себе другие, не столь «живучие», величины, и примеров тому можно привести множество.

Если там, где порядок возникает из хаоса или один порядок сменяется другим, действуют общие закономерности, то всем этим процессам должен быть присущ определенный автоматизм. Если мы научимся распознавать такие закономерности и в области экономики, социологии и политики, нам станет проще справляться с жизненными трудностями. Мы сможем, к примеру, понять, что некое направленное против нас действие основано не на заговоре против нас; люди просто ведут себя определенным образом, подчиняясь некоей модели коллективного поведения. Осознание автоматизма подобных процессов может даже привести к тому, что он начнет работать на нас, а не против нас. Подобно тому, как использование принципа рычага может помочь нам поднять непосильный вес, применение принципов синергетики может помочь достичь серьезной цели без излишних затрат. В этом смысле мы можем воспользоваться открывшимися нам тайнами Природы с большой для себя выгодой.

Наблюдая за живой природой, мы снова и снова убеждаемся в том, что она сумела и *должна была суметь* так далеко уйти по пути развития именно потому, что источники жизни и жизненные ресурсы не являются неисчерпаемыми — все, чем располагает Природа, ограничено и конечно, и все природные процессы ограничены, допустим, временем точно так же, как и мы с вами. Но именно эта ограниченность и ускоряет развитие в природе, ведет к появлению все новых и новых видов живых существ. Я полагаю, что отнюдь не случайно наибольшее развитие цивилизация получила в тех местах на Земле, где не царит вечное лето и не свирепствует столь же вечная зима.

При знакомстве с синергетикой — как и в случае с любой другой наукой — представляется разумным начать с рассмотрения самых простых процессов, а уж затем переходить к более сложным. Поэтому мы начнем с примеров из физики и химии, а затем обратимся к экономическим наукам, социологии и методологии. Нет ничего нового в идее перенесения методов и опыта, полученных на простых примерах, в область более сложных явлений. Так, скажем, в социологии и экономических науках разрабатываются модели, сходные с моделями в физике и широко использующие физическое понятие «энтропия», являющееся мерой для хаоса.

Достижения современной физики послужили основой для нового мышления сначала в самой физике, а затем и в других науках. К примеру, сегодня совершенно изменился научный взгляд на структуру общества, которая прежде рассматривалась как система, пребывающая в статическом равновесии. Структуры возникают, распадаются, конкурируют между собой или кооперируют друг с другом, объединяясь и создавая новые, большие структуры. Мы находимся сейчас в поворотной точке истории: в мышлении человека происходит поворот от статики к динамике.

Прежде чем перейти к рассмотрению всех этих вопросов, мы должны разобраться с главным возражением физики против структурообразования: с принципом увеличения неупорядоченности.

ГЛАВА 2

ТЕПЛОВАЯ СМЕРТЬ ВСЕЛЕННОЙ

Улица с односторонним движением

Преимущество физики заключается в том, что эта наука изучает течение природных процессов в точно установленных рамках опыта условий. Постулировав, что процессы протекают совершенно единообразно, физика оказалась в состоянии сформулировать универсальные законы природы. Некоторые из этих законов хорошо знакомы нам по повседневной жизни. Например, если нагреть один конец металлического стержня, то вскоре обнаружится, что температура изменилась по всей его длине, причем температура обоих концов станет по прошествии некоторого времени одинаковой (рис. 2.1). Обратного же процесса — чтобы один конец стержня вдруг сам по себе стал горячим, а другой также вдруг стал холодным — не наблюдалось еще никогда. Если соединить два сосуда, один из которых наполнен газом, а второй пуст, а затем убрать разделяющую их перегородку, то газ из первого сосуда тотчас же устремится во второй сосуд, пока наконец газом не окажутся равномерно заполнены оба сосуда (рис. 2.2). И опять-таки обратного этому процесса — то есть такого, при котором молекулы газа вдруг собрались бы все в первом сосуде, — никогда не наблюдалось.



Рис. 2.1. Выравнивание температуры в нагретом с одного конца металлическом стержне: стержень становится не горячим или холодным, а теплым

Если мы едем на автомобиле и начинаем тормозить, то машина в конце концов останавливается, а тормозные колодки и покрышки колес нагреваются. Однако никому еще не удавалось сдвинуть с места автомобиль, нагревая его тормоза и покрышки.

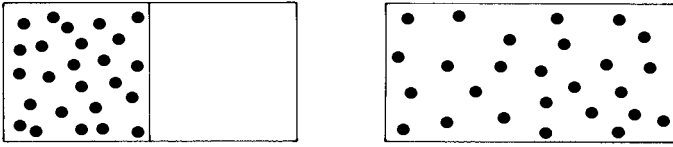


Рис. 2.2. Если удалить стенку, разделявшую два сосуда на рисунке слева, то атомы газа равномерно заполнят оба сосуда

Очевидно, что все эти процессы могут протекать только в одном направлении; обратное течение процесса невозможно, а потому все они называются необратимыми.

К концу XIX века гениальному австрийскому физiku Людвигу Больцману (1844–1906) удалось найти ответ на вопрос, почему процессы в природе протекают в определенном направлении. Ответ этот гласил: все процессы в природе движется в сторону увеличения во Вселенной неупорядоченности.

Что такое неупорядоченность?

Каким образом мы можем дать определение понятия «неупорядоченность»? В данном случае значение физического термина не так уж далеко от смысла слова, которым мы с вами пользуемся в повседневной жизни — «непорядок, отсутствие порядка, беспорядок». Отчего, например, в комнате школьника беспорядок? Допустим, потому, что здесь давно не прибирали или, иначе говоря, отдельные вещи и вещички (вроде школьных тетрадей и учебников) лежат вовсе не там, где им, собственно, отведено место (рис. 2.3). Скажем, учебник биологии не стоит, как ему положено, на книжной полке, а лежит на столе, или на подоконнике, или на стуле, или на кровати, или на полу, или еще где-то — возможностей у него великое множество. То же самое может относиться к тетрадам, пеналу или ластику.

Если же все предметы находятся именно там, где для них предусмотрено место, то состояние такой прибранной комнаты мы называем порядком. Таким образом, возможно только одно состояние порядка, в то время как беспорядок связан с множеством возможностей для каждого предмета оказаться там или сям; вот именно поэтому в отсутствие порядка так трудно бывает отыскать какую-то определенную вещь. Итак, подчеркнем это еще



Рис. 2.3. Так художник М. Эшер представил порядок и хаос. Очевидно, хаос — это такое состояние, при котором ничто не находится в предназначенных местах (а находится, например, в мусорной корзине)

раз: большое количество возможных мест пребывания для каждого предмета и порождает состояние беспорядка.

Описанное множество возможностей определяет меру неупорядоченности и в физике. Мы можем наглядно продемонстрировать это, используя простой пример. Рассмотрим модель газа, состоящую всего из четырех молекул, которые мы обозначим цифрами от 1 до 4. Допустим, что мы должны распределить этот газ по двум камерам.

Существует всего *одна* возможность поместить все молекулы в одну камеру (на рис. 2.4 вверху слева) и целых шесть различных вариантов того, как это можно сделать, распределив молекулы попарно по двум камерам. На макроскопическом уровне мы имеем, собственно, всего два варианта: в одном случае все молекулы находятся в одной камере, а во втором — поделены пополам и находятся в разных камерах. Принцип Больцмана гласит, что природа стремится к таким состояниям, при которых имеется наибольшее

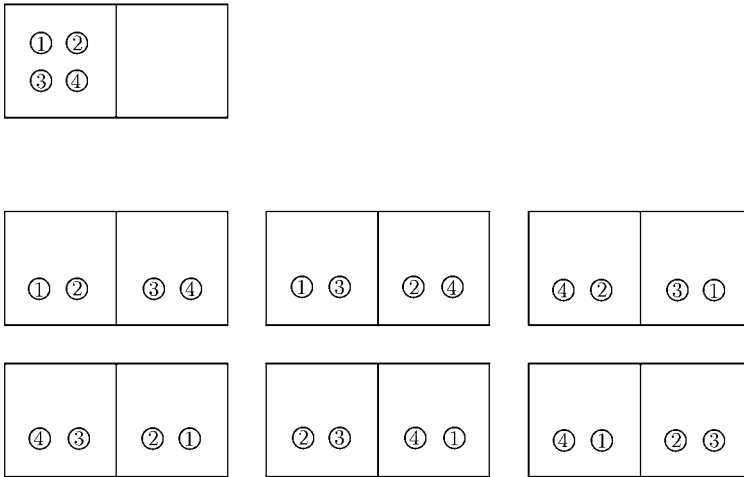


Рис. 2.4. Демонстрация принципа вычисления наибольшей энтропии по Больцману. В верхней части рисунка показан единственный вариант размещения всех молекул в одной камере. Ниже приведены шесть вариантов равномерного распределения газа в двух камерах

шее количество осуществимых вариантов. Используемое физиками понятие «энтропия» определяется, по Больцману, количеством таких возможностей, а говоря точнее, логарифмом этого числа. Итак, природа стремится к состоянию максимальной энтропии.

В нашем примере шесть вариантов «равномерного распределения четырех молекул» противопоставлены единственному варианту «все молекулы в одной камере». В природе количество молекул газа даже в одном кубическом сантиметре колоссально велико; соответственно многократно возрастает и число возможных вариантов распределения этих молекул. Следовательно, и вероятность того, что природа осуществит вариант равномерного распределения, чрезвычайно высока, и все отклонения от этого варианта представляют собой лишь незначительные флуктуации — например небольшое изменение плотности (рис. 2.5).

Разумеется, для достижения полного понимания принципа Больцмана процессы следует рассматривать в движении. Это, собственно, относится уже к вычислению тех вариантов, которые могут быть осуществлены. Если

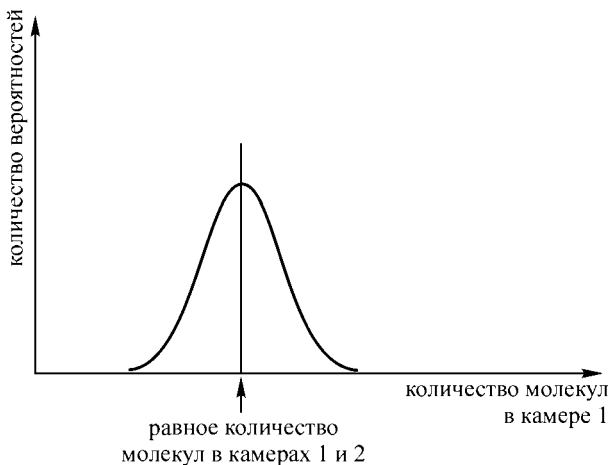


Рис. 2.5. На схеме представлена так называемая кривая распределения для случая с очень большим количеством молекул газа. Максимум кривой соответствует состоянию, в котором молекулы равномерно распределены по обеим камерам. Вероятность иного распределения, как видно из графика, чрезвычайно мала

посмотреть на письменный стол, скажем, некоего профессора, то нам может показаться, что здесь царит полный беспорядок. Однако стоит только кому-нибудь (например уборщице) навести на этом столе порядок, профессор будет весьма рассержен: теперь он оказывается просто не в состоянии отыскать на собственном столе и одной из нужных ему бумаг, хотя до сих пор — до наведения этого якобы порядка — ему с легкостью удавалось быстро найти все необходимое. В чем же тут дело? Может быть, это просто каприз старого чудака? Или его затруднения имеют какую-то реальную причину?

Объясняется все следующим образом. Профессор точно знал, где на его столе, который непосвященным казался царством беспорядка, лежат нужные книги и рукописи. Поэтому, несмотря на кажущийся беспорядок, здесь — как и в примере с газом — все же существовало лишь *единственное* состояние, при котором профессор легко находил свои вещи. После «наведения порядка» это состояние было заменено новым, при котором профессор уже не смог найти нужные ему бумаги на «правильных» местах. Таким образом, в понятие неупорядоченности входит также и случай, когда

постоянно реализуются все новые и новые возможности, о которых уже шла речь в примере с молекулами; иными словами, письменный стол профессора разупорядочен, если вещи, находящиеся на нем, без конца меняются местами.

Как раз так и поступает Природа с молекулами газа: двигаясь со скоростью 460 метров в секунду (скорость молекул кислорода при комнатной температуре), они безостановочно проносятся перед нами, осуществляя все новые и новые варианты распределения. Природа похожа на карточного игрока, который с необычайной скоростью перемешивает у нас на глазах колоду, и мы оказываемся уже не в состоянии проследить за какой-либо отдельной картой. Упомянутое движение молекул и само является неупорядоченным: его называют также тепловым движением.

Деградация энергии

Вновь воспользовавшись для примера автомобилем, можно сформулировать то же самое несколько иначе. Пока автомобиль едет, вся его энергия является энергией поступательного движения, или кинетической энергией. Поскольку поступательное движение направлено в определенную сторону, движущийся автомобиль, как говорят физики, имеет одну *степень свободы*. Когда автомобиль начинает тормозить, его энергия движения преобразуется в тепловую, и его тормозные колодки и покрышки колес нагреваются (рис. 2.6). Однако теплота — это микроскопическое движение огромного количества молекул и атомов. Общеизвестно, что одно тело теплее другого тогда, когда молекулы первого движутся интенсивнее, чем молекулы другого. Но так как молекулы — по крайней мере на микроскопическом уровне — могут двигаться в различных направлениях и количество самих молекул чрезвычайно велико, тепловая энергия характеризуется множеством степеней свободы. Иначе говоря, при торможении автомобиля энергия с единственной степенью свободы становится энергией со многими степенями свободы, и при этом появляется невероятное количество возможностей реализовать такое новое распределение. Обратный процесс означал бы, что все молекулы разом, как по команде, вдруг самопроизвольно полетели бы в одном направлении, и все множество степеней свободы свелось бы к одной-единственной. Однако такое развитие событий — согласно основному закону термодинамики — невозможно. Действительно, энергию поступательного движения автомобиля, т. е. энергию с одной степенью свободы,

можно превратить в тепло; обратный же процесс мы осуществить не в состоянии — по крайней мере в полном объеме. Все дело в том, что энергия, заключенная в рамки единственной степени свободы, является энергией более высокого уровня, нежели энергия, распределяемая по множественным степеням свободы.

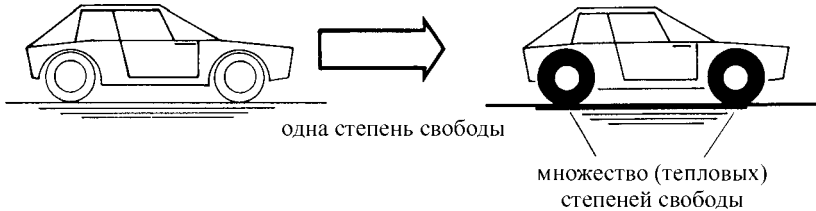


Рис. 2.6. Движущийся автомобиль (слева) имеет только одну степень свободы. При торможении эта единственная степень свободы преобразуется в огромное множество степеней свободы теплового движения (например в покрышках колес и тормозных колодках)

Стремление Природы к возрастающей неупорядоченности может быть определенным образом ограничено. Используя в примере с газом разделяющую камеры перегородку, мы можем воспрепятствовать дальнейшему движению молекул и остановить их дальнейшее распределение. Следует постоянно помнить о том, что Природа не вынужденно стремится к увеличению неупорядоченности, что она вовсе не обязана непременно достичь состояния хаоса, и что на нее извне могут быть наложены ограничения. Так, например, человеку удалось обнаружить несколько технических трюков, с помощью которых стало возможным использование части тепловой энергии. Скажем, в двигателях внутреннего сгорания упомянутая возможность реализуется с помощью движущихся поршней: часть образующейся при сгорании бензина тепловой энергии переходит в энергию, которая движет поршни, располагающие одной степенью свободы; однако большая часть тепловой энергии при этом все же теряется — точнее, передается охлаждающей жидкости. Как утверждает физика, подобная «регенерация» и вторичное использование высокоуровневой энергии принципиально ограничено и требует к тому же особых машин, придуманных человеческими головами и созданных человеческими руками. Во Вселенной для возрастающей неупорядоченности, по-видимому, не существует такого рода

препятствий. Отсюда физики заключают, что Вселенная устремлена к состоянию максимальной неупорядоченности, при котором все упорядоченные структуры в конце концов распадутся и жизнь станет невозможна — Вселенную ждет «тепловая смерть». Вспомним слова знаменитого Г. фон Гельмгольца (1821–1894): «С этого момента Вселенная обречена на вечный покой». А не менее знаменитый Р. Клаузиус (1822–1888) говорил: «Чем ближе Вселенная к состоянию максимальной энтропии, тем меньше возникает возможностей для дальнейших изменений». Когда же это состояние будет достигнуто, Вселенная окажется «в состоянии неизменной смерти».

Взгляд в прошлое Вселенной дает нам, по всей видимости, столь же мало указаний на возможность возникновения жизни, как и взгляд в ее будущее. По оценкам большинства физиков, Вселенная возникла порядка 10–15 миллиардов лет назад в результате «большого взрыва» в виде чудовищно горячего огненного шара, внутри которого не было и следа порядка. Итак, в начале времен в мире не существовало ничего, кроме хаоса. После этого неупорядоченность должна была только возрасти, стремясь достичь максимума. Где же среди всего этого хаоса нашлось место для упорядоченных, осмысленных — не говоря уже о живых — структур?

ГЛАВА 3

КРИСТАЛЛЫ: УПОРЯДОЧЕННЫЕ, НО НЕЖИВЫЕ СТРУКТУРЫ

В предыдущей главе упоминалось о том, что повышение температуры связано с более интенсивным движением молекул и, соответственно, приводит к большей неупорядоченности. Это наводит на такую мысль: нельзя ли добиться упорядоченности, избавляя систему от тепловой энергии. Именно это и происходит при охлаждении. Рассмотрим несколько эмпирических фактов. Если заморозить воду, то она превратится в лед, а точнее — образует ледяной кристалл (рис. 3.1).

Поскольку молекулы воды очень и очень малы (приблизительно одна миллионная миллиметра), мы не можем увидеть их по отдельности даже при помощи самого лучшего микроскопа, однако кристаллы можно «прощупать», используя рентгеновское излучение или электронные волны, благодаря чему физики и получили столь точную картину их строения. Отдельные молекулы выстроены в кристалле стройными рядами, «плечом к плечу»: здесь мы имеем дело с высокоорганизованным твердым состоянием материи. В жидком состоянии отдельные молекулы воды подвижны относительно друг друга, что и обеспечивает

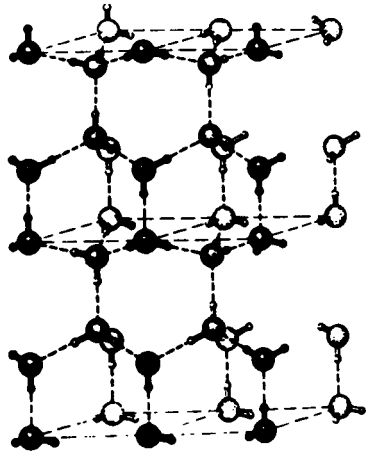


Рис. 3.1. В кристалле льда молекулы воды строго упорядочены и создают периодическую решетку, схематически изображенную на этом рисунке. Большими шарами представлены атомы кислорода, а соединенные с ними сплошными линиями маленькие шарики символизируют атомы водорода

ее текучесть. Если нагреть воду до температуры кипения, она начнет испаряться, т. е. перейдет в газообразное состояние. В водяном паре молекулы воды непрерывно сталкиваются друг с другом и изменяют вследствие этого траектории своего движения, подобно множеству крошечных теннисных мячей — т. е. находятся в состоянии полной неупорядоченности (рис. 3.2).

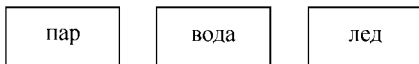


Рис. 3.2. Три агрегатных состояния воды

что для возникающих при фазовых переходах состояний характерны совершенно различные уровни упорядоченности (или неупорядоченности), такие переходы давно привлекли к себе внимание физиков; исследования фазовых переходов проводятся и современными учеными. Что же особенного в фазовых переходах?

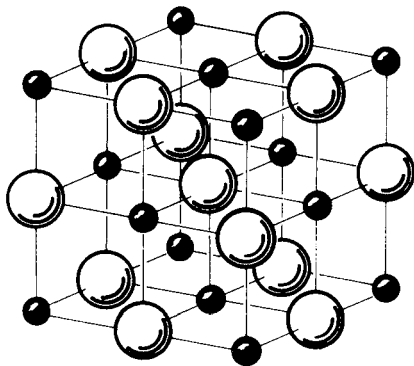


Рис. 3.3. Организация атомов в кристалле поваренной соли (NaCl). Большие шары — ионы хлора, маленькие — ионы натрия

лы жестко упорядочены внутри периодической решетки (рис. 3.3).

С каждым из этих состояний микроскопической организации связаны совершенно различные макроскопические свойства, особенно же нагляд-

В физике эти различные агрегатные состояния — твердое, жидкое и газообразное — называют также фазами, а переходы от одного состояния к другому, соответственно, фазовыми переходами. Благодаря тому,

Как уже ясно из примера с водой, основу каждой из трех фаз — водяной пар, вода и ледяной кристалл — составляют одни и те же молекулы. На микроскопическом уровне эти три фазы отличаются только лишь организацией молекул, их расположением относительно друг друга. В водяном паре молекулы движутся со скоростью около шестисот двадцати метров в секунду, при этом молекулы никоим образом не воздействуют друг на друга (за исключением случаев их столкновения). В жидкости между молекулами существуют силы взаимного притяжения, однако молекулы все же остаются довольно подвижными. В кристаллах же отдельные молеку-

но проявляются различия механических свойств. Например, в газообразной (или парообразной) фазе вещество легко сжимается, в то время как жидкость почти несжимаема, а лед и вовсе является твердым телом. Изменяются и другие физические свойства — к примеру светопроницаемость. Таким образом, мы видим, что микроскопические изменения могут стать причиной появления совершенно новых макроскопических свойств вещества (любого вещества, а не только воды).

Еще об одном свойстве фазовых переходов следует сказать особо. Переходы осуществляются (при прочих постоянных условиях — например неизменном давлении) при совершенно определенной температуре, называемой критической. Допустим, вода закипает при 100°C , а замерзает при 0°C . (Впрочем, температурная шкала Цельсия намеренно устроена таким образом, что отрезок между точкой кипения и замерзания воды равен ста градусам.) Другие вещества плавятся при совершенно других температурах: скажем, железо — при 2081°C , а золото — при 1611°C , и испаряются эти металлы при соответственно более высоких температурах.

Сверхпроводимость и магнетизм

Фазовые переходы происходят не только из одного агрегатного состояния в другое. Скачкообразные изменения свойств можно наблюдать и в самих кристаллах. Одним из самых интересных в смысле технического применения явлений такого рода можно считать сверхпроводимость. Чтобы понять, что значит это «сверх-», следует сначала вспомнить о принципе передачи электрического тока (как по линии электропередачи, так и в бытовых электроприборах). Электрический ток в металлах представляет собой движение мельчайших заряженных частиц, электронов. Большинство металлов образуют кристаллическую решетку, внутри которой, подобно газу, движутся свободные электроны, постоянно сталкиваясь с атомами решетки и теряя при этом энергию (рис. 3.4); именно эта «потерянная» электронами энергия и переходит в неупорядоченную тепловую энергию атомов решетки. Таким образом, часть энергии электрического тока непрерывно преобразуется в тепловую энергию. Подобный эффект, естественно, желателен в электрических утюгах, но никак не в работе линий электропередачи: здесь-то как раз было бы предпочтительнее доставить электрический ток потребителю именно в тех количествах, в каких он был произведен на электростанции, не нагревая при этом линию. Однако потери энергии «в пути», к сожалению,

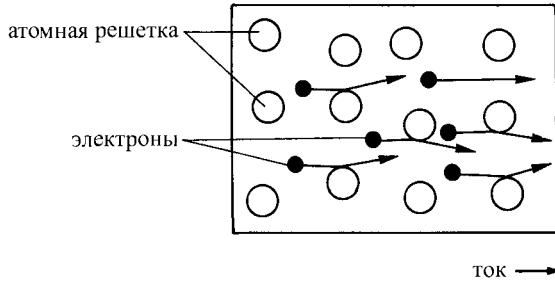


Рис. 3.4. На этом рисунке схематически изображен микроскопический участок кристаллической решетки. Отдельные атомы металла показаны большими кружками. Вследствие теплового движения атомы металла непрерывно колеблются. Представленные маленькими черными кружками электроны сталкиваются с атомами решетки, что замедляет их движение и изменяет его траекторию; при этом часть своей энергии электроны передают атомам решетки, в результате чего происходит постепенное нагревание металла и одновременное ослабление электрического тока

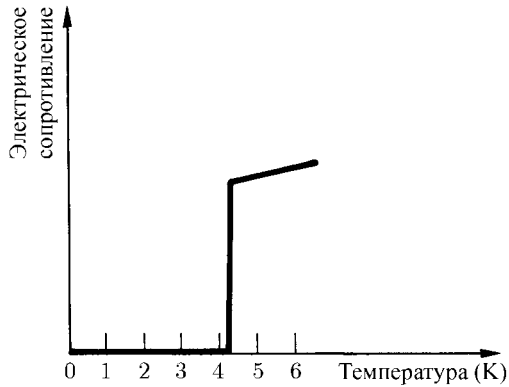


Рис. 3.5. График зависимости электрического сопротивления от температуры. При температуре ниже критической (здесь это 4,2 К [абсолютная температура]) электрическое сопротивление полностью отсутствует; выше же этой отметки сопротивление принимает некоторое конечное значение

нию, неизбежны из-за описанных уже столкновений электронов с атомами

решетки металлического проводника — так называемого электрического сопротивления. Уже в 1911 году голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес обнаружил, что некоторые металлы (например ртуть) при охлаждении до определенных, очень низких температур, полностью теряют сопротивление (рис. 3.5). Этот феномен был назван ученым *сверхпроводимостью*. Поистине потрясает в этом явлении то, что сопротивление не просто становится очень малым — оно исчезает абсолютно! Это доказывают эксперименты с проволокой, согнутой в кольцо: ток по этой проволоке протекал больше года. В конце концов физикам это наскучило, и они прекратили эксперимент, снова нагрев проволоку. Теоретических объяснений этого феномена пришлось ждать более сорока лет. Сегодня нам известно, что в основе процесса сверхпроводимости лежит совершенно особое состояние микроскопической упорядоченности: электроны проходят сквозь кристаллическую решетку металла попарно. Пары электронов движутся строго упорядоченно, пресекая всякие попытки атомов решетки сопротивляться своему току. В определенном смысле это то же самое, что колонна на марше, бегущая сквозь густые заросли кустарника, держась при этом за руки; кусты больше не являются препятствием для отдельных людей. И снова мы видим, как и в случаях с другими фазовыми переходами, что изменения порядка на микроскопическом уровне («попарное» движение электронов) дают совершенно новые макроскопические состояния (ток при полном отсутствии сопротивления).

Почему же сверхпроводники до сих пор не используются в линиях электропередачи? Вся беда в том, что сверхпроводимость становится возможной лишь при сверхнизких температурах (например при -260°C), и охлаждение в таких масштабах потребовало бы чересчур больших денежных затрат¹. Однако есть и другие области применения сверхпроводимости, и здесь охлаждение вполне окупается. Как известно, электрический ток порождает магнитные поля. С помощью сверхпроводимости можно создавать неизмеримо мощные магнитные поля, и уже сегодня этот эффект

¹Между тем Й. Г. Беднорц и Алекс Мюллер сделали потрясающее открытие: они обнаружили, что существуют вещества, демонстрирующие сверхпроводимость при гораздо более высоких температурах. Были найдены материалы с критическими температурами порядка -140°C . К сожалению, эти вещества очень хрупки, и прежде чем можно будет говорить о возможности их практического применения, ученым предстоит немало потрудиться. Кроме того, даже эта критическая температура все же слишком низка для использования таких материалов в линиях электропередачи. (Здесь и далее — примечания автора, за исключением особо оговоренных. — *Прим. перев.*)

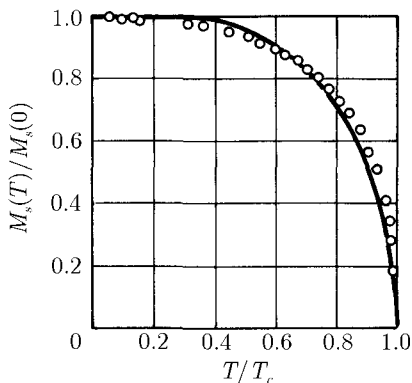


Рис. 3.6. Зависимость намагниченности ферромагнетика от температуры. При температуре T выше критической (T_c) намагниченность исчезает

(774°C) намагниченность внезапно исчезает (рис. 3.6). Интересно, что и здесь изменение макроскопических свойств объясняется процессами, протекающими на микроскопическом уровне. Исследуя структуру магнитов, физики обнаружили, что они состоят из крошечных «магнитиков», которыми оказались сами атомы железа (а точнее, их электроны). Элементарные магниты связаны между собой определенными силами. Однако если одноименные полюса обычных, макроскопических, магнитов отталкиваются друг от друга, то элементарные магниты обладают как раз противоположным свойством, и их одноименные полюса притягиваются. Иначе говоря (и, с точки зрения физики, более точно), элементарные магниты выстраиваются в определенном порядке, сохраняя одинаковую ориентацию (рис. 3.7). Объяснить такое необычное поведение можно лишь с привлечением работ Гейзенберга в области квантовой теории, которые уведут нас, пожалуй, слишком далеко от нашей темы. Все микроскопические магнитные поля

применяется, среди прочего, в установках для производства энергии посредством реакции термоядерного синтеза. Крошечные сверхпроводники используются в отдельных элементах схем современных компьютеров, а компьютеры следующего поколения, возможно, будут иметь в своей основе электронный мозг, способный работать только при температурах, близких к абсолютному нулю². Скачкообразное изменение физических свойств наблюдается также и в ферромагнетиках. Речь идет о кристаллах железа, которые демонстрируют намагниченность при комнатной температуре. При нагревании же ферромагнетика до определенной температуры

²По крайней мере, так казалось в тот момент, когда готово было первое издание этой книги. Впрочем, за прошедшие годы одна из компьютерных фирм все же успела сообщить о начале соответствующих разработок. Неуклонно совершенствующиеся полупроводниковые технологии позволяют производить все более миниатюрные и быстродействующие компоненты, так что построение суперкомпьютера, возможно, уже и вовсе не потребует применения сверхпроводников.

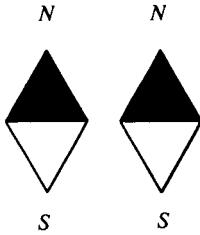


Рис. 3.7. При температуре ниже критической микроскопические элементарные магниты, из которых состоит ферромагнетик, упорядочены

суммируются и создают то макроскопическое магнитное поле, которое каждый из нас наверняка наблюдал у магнитов.

Фазовые переходы: от хаоса к порядку и обратно

В неупорядоченном состоянии элементарные магниты ферромагнетика могут быть распределены по всем возможным направлениям. Такое распределение можно назвать симметричным: ни одно из направлений не имеет никаких преимуществ перед всеми прочими. При намагничивании же ферромагнетика все элементарные магниты вдруг оказываются обращены в одном и том же направлении; и хотя до фазового перехода все направления были равноправными, в этот момент происходит выбор одного определенного направления: существовавшая изначально симметрия направлений оказывается «нарушена» (рис. 3.8).

Ферромагнетики идеально подходят для изучения процессов, происходящих на микроскопическом уровне при фазовых переходах. В намагниченном, упорядоченном состоянии все элементарные магниты сориентированы в одном направлении, в то время как в разупорядоченной фазе они оказываются хаотически распределены по всем возможным направлениям. Причина возникновения этих двух абсолютно различных фаз — борьба двух разнородных физических сил. Одна из них воздействует на элементарные магниты, выстраивая их параллельно, в одном направлении. Другая сила основывается на тепловом, т. е. неупорядоченном, движении и стремится разупорядочить структуру магнита, хаотически распределив направления полюсов элементарных магнитов. Здесь, пожалуй, можно провести аналогию с весами: на одну чашу весов нагрузим тепловое движение, а на другую — силы, упорядочивающие расположение элементарных магнитов. Если бóльшим «весом» обладает тепловое движение, то магнит оказывает-

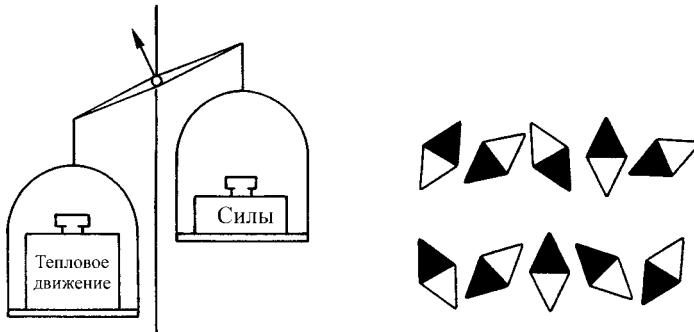


Рис. 3.8. Весы символизируют борьбу между тепловым движением и силами, действующими внутри магнита. Если «перевешивает» тепловое движение, то элементарные магниты оказываются сориентированы в разных направлениях

ся в неупорядоченной фазе и на макроскопическом уровне теряет намагниченность, поскольку прекращается совокупное воздействие отдельных элементарных магнитов, направленное наружу (рис. 3.8). Охладив магнитный брусок, мы существенно «облегчим» эту чашу весов, и преимущество получат силы, действующие внутри магнита. Весы тут же склонятся в другую сторону, и элементарные магниты снова расположатся стройными рядами (рис. 3.9).

Некоторые из тех понятий, с которыми мы познакомились, рассматривая фазовые переходы, будут очень важны для нас и в дальнейшем, когда мы будем обсуждать в терминах синергетики течение различных процессов, используя примеры не только из физики, но также из социологии и психологии.

К таким понятиям можно отнести важное свойство многих фазовых переходов, которое мы можем наблюдать невооруженным глазом при кипении жидкости. Скажем, вода при температуре ниже критической прозрачна, однако при приближении к точке кипения она мутнеет. Объясняется это тем, что у закипающей воды существенно изменяется способность к светорассеянию. В данном случае эту способность ослабляет то, что движение молекул воды вблизи критической точки особенно интенсивно, а это приводит к тому, что физики называют «критическими флуктуациями». Иллюстрацией этого понятия может стать картинка, изображающая большую группу людей в момент окончания какого-нибудь собрания. Люди начи-

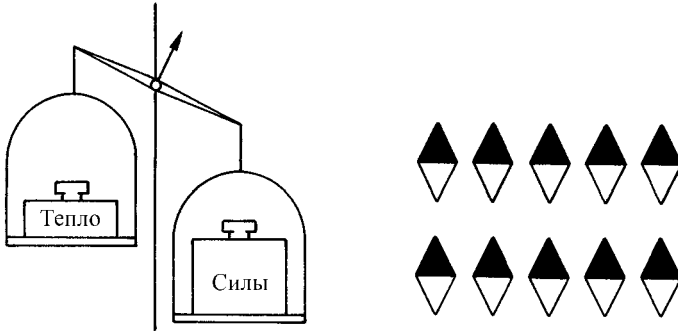


Рис. 3.9. Ситуация, противоположная предыдущей: тепловое движение оказалось слабее, и внутренние силы упорядочили элементарные магниты

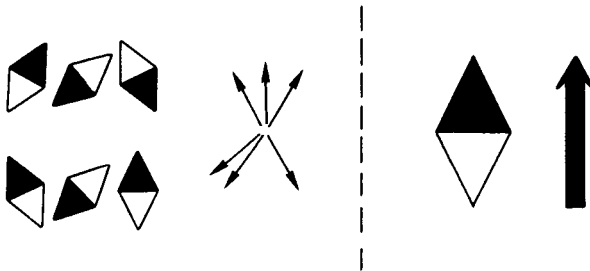


Рис. 3.10. Здесь сопоставлены оба случая, представленные на рис. 3.8 и 3.9. Слева: элементарные магниты сорентированы различным образом, вследствие чего общая намагниченность равна нулю. Справа: все элементарные магниты сорентированы одинаково, что усиливает их магнитное действие, и ферромагнетик становится магнитом

нают расходиться, возникает оживленное движение, кое-где приводящее к пробкам, и так продолжается до тех пор, пока каждый не отправится своей дорогой (рис. 3.11). В самом начале главы мы уже упоминали о том, что фазовые переходы и сегодня остаются объектом интенсивных физических исследований. При этом выясняется, что фазовые переходы, несмотря на различие в характере субстанций и феноменов, все же подчиняются одинаковым закономерностям и сопровождаются одними и теми же основными

проявлениями — такими, например, как критические флуктуации или нарушение симметрии. В последние годы физикам удалось обосновать единые закономерности фазовых переходов. Допустим, неожиданное возникновение при таких переходах упорядоченных структур можно непосредственно перенести на процессы, происходящие в живых организмах, — ведь и здесь мы имеем дело, в определенном смысле, с упорядоченными структурами. Есть, однако, одно «но». В наших примерах были рассмотрены вещества, приходившие в упорядоченное состояние только при понижении температуры. Физиологические же процессы при понижении температуры, напротив, ослабевают и даже полностью прекращаются, а результатом этого для многих живых существ становится смерть.

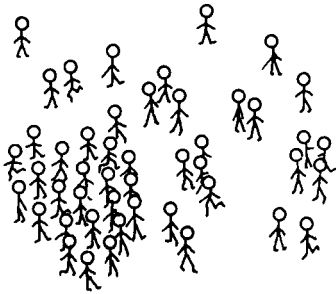


Рис. 3.11. Собрание закончилось, и его участники, толпясь, устремляются к выходу, демонстрируя при этом значительные колебания плотности своего распределения

внести свой вклад в объяснение природы жизни. Однако не будем судить опрометчиво — лучше продолжим исследование нашей темы в следующей главе.

Живые существа для поддержания жизни нуждаются в постоянном притоке энергии и веществ, которые они усваивают и перерабатывают. Высокоразвитые теплокровные существа не только не поддерживают теплового равновесия с окружающей их средой — они весьма далеки от него. Скажем, температура нашего тела около 37°C , а нормальной комнатной температурой мы считаем температуру всего лишь порядка 20°C . Очевидно, что физиологические процессы должны быть основаны в этом случае на каких-то совершенно иных принципах, не имеющих ничего общего ни с кристаллической решеткой сверхпроводников, ни с ферромагнетиками. Может показаться, что физике не дано

ГЛАВА 4

ЯЧЕЙСТЫЕ СТРУКТУРЫ В ЖИДКОСТИ, ОБЛАЧНЫЕ УЗОРЫ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ

В механике известны различные виды равновесия (рис. 4.1–4.3). Представим себе открытую чашу, в которую помещен шар. Пребывая в состоянии равновесия, шар этот покоится в самой глубокой точке чаши. Если сдвинуть шар с места и отпустить, он немедленно вернется в положение равновесия. Перед нами случай устойчивого равновесия. Поместим теперь шар на плоскую поверхность стола. Передвигая шар, мы видим, что всякий раз он оказывается на новом месте в состоянии покоя. Такое равновесие называется безразличным. И наконец, если нам удастся заставить шар балансировать на поверхности опрокинутой чаши, такое состояние шара также будет состоянием равновесия. В этом случае при самом малом смещении шара из точки равновесия он покинет ее навсегда. Здесь мы имеем дело с неустойчивым равновесием. Эти простые понятия мы будем использовать и для того, чтобы лучше понять некоторые интересные феномены движения жидкостей — явления широко известные, но редко нами осознаваемые. Иногда в небе наблюдаются «облачные улицы», строго упорядоченные ряды облаков (рис. 4.4). Планеристам известно, что эти ряды представляют собой не стагичные формации, а подвижные воздушные массы, причем вдоль

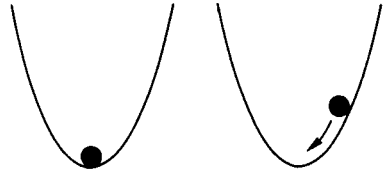


Рис. 4.1. Шар в состоянии устойчивого равновесия на дне чаши

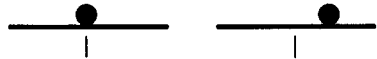


Рис. 4.2. Шар в состоянии безразличного равновесия на плоской поверхности

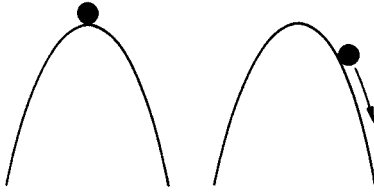


Рис. 4.3. Шар в состоянии неустойчивого равновесия на поверхности опрокинутой чаши

некоторых из таких «улиц» воздух движется вверх, а вдоль других — вниз. Таким образом, воздушные потоки образуют цилиндры.

Движение такого рода можно воспроизвести в лабораторных условиях в очень уменьшенных масштабах, взяв вместо воздуха жидкость. При нагревании снизу слоя жидкости в сосуде происходит следующее: пока разница температур между верхним и нижним слоями жидкости невелика, жидкость на макроскопическом уровне остается неподвижной (рис. 4.5). Естественно, жидкость стремится к выравниванию разницы температур посредством теплообмена, но поскольку теплообмен происходит на микроскопическом уровне, непосредственно наблюдать его мы не можем. При дальнейшем увеличении разницы температур слоев происходит нечто поразительное. Жидкость приходит в движение на макроскопическом уровне, и движение это никоим образом не является хаотическим. Напротив, жидкость движется весьма упорядоченно, образуя при этом цилиндрические ячейки (рис. 4.6). Направление движения жидкости показано на рисунке стрелками: поднявшись к поверхности, жидкость охлаждается и снова опускается вниз. Самым удивительным в этом цилиндрическом образовании является то, что для организации такого коллективного движения молекулы жидкости должны каким-то образом «договориться» между собой через огромные по их масштабам расстояния, ведь образующиеся в процессе цилиндры в миллиарды раз превосходят размерами сами молекулы. Рассмотрим для начала слой жидкости, находящейся в состоянии покоя. При нагревании расположенная внизу жидкость расширяется и вследствие этого стремится вверх, сверху же при этом давит жидкость более холодная и поэтому более тяжелая. Стремящиеся вверх и вниз массы жидкости оказываются в состоянии равновесия (рис. 4.7). Устойчиво это равновесие или же безразлично? На первый взгляд может показаться, что такое равновесие неустойчиво, так как верхние массы жидкости стремятся опуститься вниз, а нижние подняться вверх, и достаточно небольшого толчка, чтобы вся жидкость пришла в движение. Однако в действительности, как мы сейчас убедимся, ситуация несколько сложнее.

Представим себе маленький шарик нагретой жидкости, поднимающийся вверх (рис. 4.8). Встречаясь с более холодными слоями, он будет пере-



Рис. 4.4. «Облачные улицы»

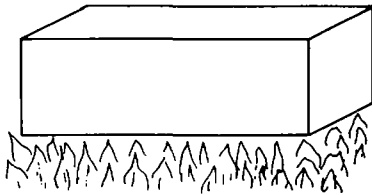


Рис. 4.5. Слой жидкости, подогреваемый снизу

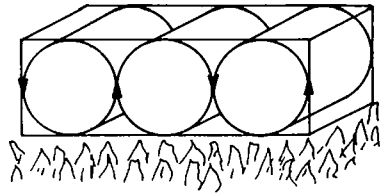


Рис. 4.6. Цилиндрическое движение жидкости

давать им свое тепло. Вместе с теплом шарик теряет и «подъемную силу». Кроме того, движение его будет тормозиться из-за трения с окружающей средой. Охлаждение и торможение, таким образом, препятствуют дальнейшему движению шарика, и оно прекращается; жидкость продолжает пребывать в состоянии покоя. Такое положение дел, однако, возможно лишь до тех пор, пока разница температур невелика. Как только жидкость нагреется достаточно сильно, горячие капельки жидкости устремляются вверх, и этот процесс становится основой макроскопического движения. Поразительно,

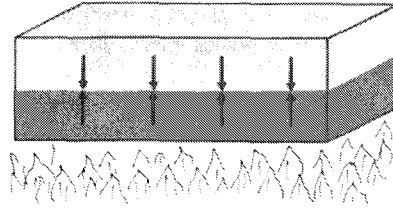


Рис. 4.7. Нагреваемая снизу жидкость в состоянии покоя

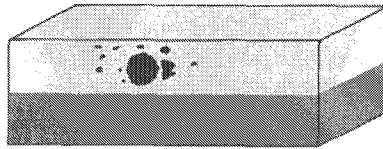


Рис. 4.8. Поднимающийся вверх шарик жидкости

что при этом отдельные нагретые частицы жидкости движутся вверх отнюдь не хаотично — напротив, их движение строго упорядочено. Кажется даже, что всем этим управляет некая внешняя сила; попытаемся разобраться в происходящем, прибегнув к аналогии.

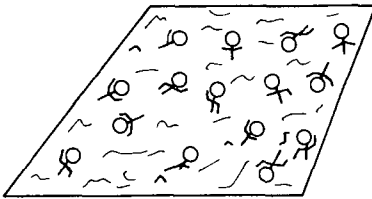


Рис. 4.9. Пловцы в бассейне: неорганизованное движение

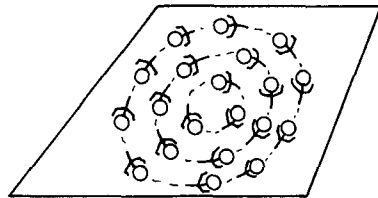


Рис. 4.10. Пловцы в бассейне: упорядоченное, организованное движение по кругу

Представим себе бассейн, в котором люди плавают из одного конца в другой. Если пловцов очень много, то они будут постоянно оказываться друг у друга на пути (рис. 4.9). Чтобы избежать подобной суетолики в открытых

бассейнах, переполненных желающими искупаться в жаркий летний день, некоторые зрители запускают пловцов по кругу (рис. 4.10), так что они теперь мешают друг другу гораздо меньше. Коллективное движение по кругу «предписано» пловцам зрителем бассейна; однако не исключено, что они и сами могли бы додуматься до чего-то подобного: сначала, возможно, в этом участвовало бы всего несколько человек, но со временем к ним присоединились бы и другие — те, кому эта идея понравилась, и такой способ плавания показался удобнее. Так в конце концов может возникнуть коллективное движение; поскольку это происходит при отсутствии внешнего организатора, можно говорить о *самоорганизации*. Пример с жидкостью демонстрирует нам, что и Природа поступает точно так же. Она обнаруживает, что нагретые частицы гораздо легче доставить наверх, если упорядочить их передвижение. Но каким образом происходит такое упорядочивание? В качестве частного примера рассмотрим все ту же жидкость. Здесь упорядочивание происходит в результате множественных флуктуаций. Безостановочно «тестируя» различные возможности, жидкость переправляет нагретые частицы вверх, в то время как более холодные опускаются вниз. Все эти бесчисленные возможности могут быть описаны как совокупности различных простых движений, т. е. любое неупорядоченное движение можно, на первый взгляд, представить в виде суммы неких упорядоченными форм. Два примера такого движения представлены на рис. 4.11 и 4.12. В первом случае жидкость обнаруживает, что такой порядок особенно благоприятен для подъема теплых частиц. Движение разрастается, в него включается все больше и больше частиц, подчинившихся данному порядку и «порабощенных» им. Другой тип движения со временем затухает — это была всего лишь флуктуация. Перед нами пример конкурирующего поведения двух различных типов коллективного движения: один из них берет верх, подчиняя себе при этом все остальные. Возникает совершенно определенный тип движения жидкости в цилиндрических ячейках, выполняющий функции организатора. Именно организатор указывает отдельным частицам жидкости, как они должны двигаться. Стоит только такому типу движения обосноваться на одном из участков жидкости, как в процесс образования цилиндров оказываются вовлечены и другие участки. Представляется интересным точно вычислить, какой именно тип коллективного движения возобладает, и какие другие конфигурации окажутся им подчинены. Конечно, справедливо это лишь *cum grano salis*¹. Собственно, если рассматривать отдельную

¹ Букв. «с крупинкой соли» (лат.). Здесь: «с оговорками». — *Прим. перев.*

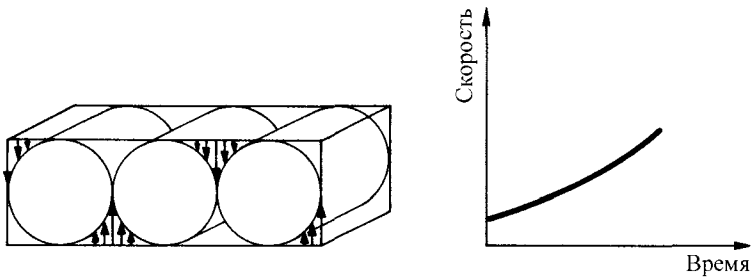


Рис. 4.11. Слева: одна из возможных структур, возникающих при цилиндрическом движении. Справа: С течением времени скорость вращения цилиндрических ячеек возрастает

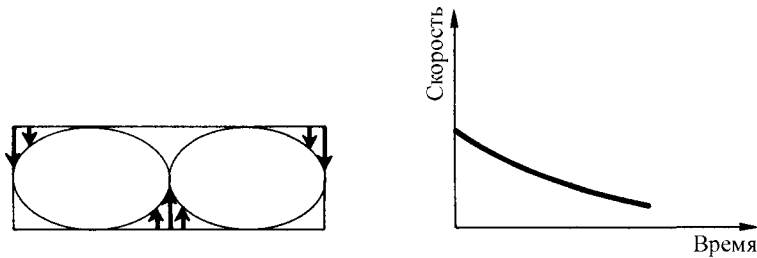


Рис. 4.12. Другая конфигурация ячеек: в этом случае скорость вращения ячеек со временем падает

ячейку (например среднюю), то совершенно очевиден тот факт, что в принципе одинаково возможно и движение цилиндра слева направо, и движение справа налево (рис. 4.13 и 4.14). Какое именно из этих двух направлений будет выбрано, зависит от случая. Нарушение симметрии направлений может произойти в результате случайной флуктуации. Как только начальное состояние покоя жидкости нарушено, для возникновения цилиндрических ячеек и макроскопического движения оказывается достаточно даже малейшей флуктуации. Позднее, обратившись к социологии, мы увидим, что и в политических и экономических событиях малые флуктуации — зачастую случайные — оказывают решающее влияние на окончательный выбор направления, определяющего дальнейшее развитие событий. После того как

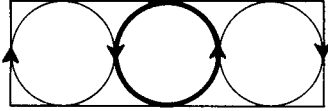


Рис. 4.13. Схема иллюстрирует нарушение симметрии. В данном случае средняя ячейка вращается справа налево

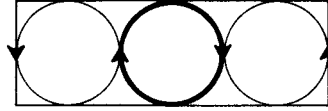


Рис. 4.14. Данная схема также иллюстрирует нарушение симметрии, но на этот раз средняя ячейка вращается слева направо. Соседние ячейки вращаются, соответственно, в обратном направлении

выбор сделан, все существовавшие до этого возможные варианты оказываются исключены, и изменить решение касательно сделанного выбора уже нельзя. Выбор часто определяется совсем незначительными флуктуациями, однако в движении должны принять участие все без исключения частицы, хотя бы они того или нет.

В самом начале этой главы мы рассматривали различные виды равновесия, используя простую механическую модель. Теперь при помощи похожих примеров попытаемся разобраться и в устойчивости цилиндрических ячеек. Для этого по горизонтали отложим наибольшую вертикальную скорость — т. е. положение шара на рисунке будет соответствовать значению скорости. Состояние покоя жидкости можно считать устойчивым; это означает, что все колебания скорости при этом должны в сумме давать нуль. Теперь рассмотрим ситуацию, представленную на рис. 4.15. При дальнейшем нагревании жидкости состояние покоя становится неустойчивым. При

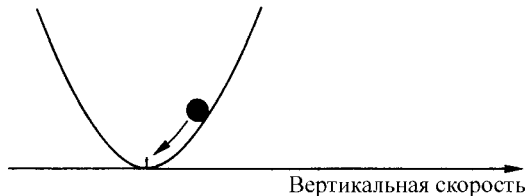


Рис. 4.15. Данная схема соответствует состоянию равновесия слабо подогреваемой снизу жидкости. По горизонтали откладываются значения вертикальной скорости движения жидкости; шар, положение которого символизирует скорость, всегда возвращается в состояние покоя

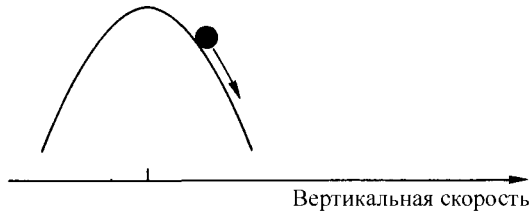


Рис. 4.16. Разница температур верхнего и нижнего слоев жидкости растет, а вместе с ней растет и скорость движения жидкости. В нашем механическом аналоге это означает, что шар оказывается в состоянии неустойчивого равновесия

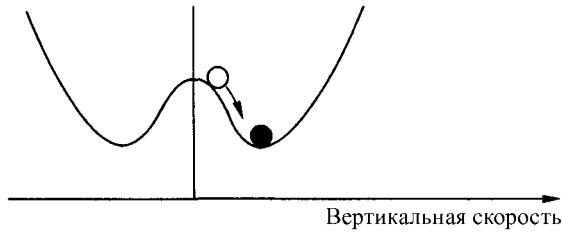


Рис. 4.17. Скорость движения жидкости не может расти до бесконечности; неустойчивое равновесие шара с рис. 4.16 наконец стабилизируется, и шар снова оказывается в состоянии покоя

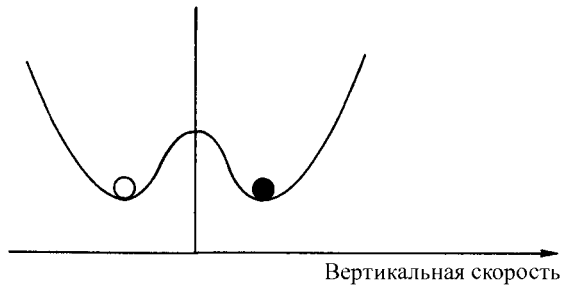


Рис. 4.18. Нарушение симметрии: шар может занять лишь одно из двух совершенно равнозначных положений. Для жидкости это означает, что цилиндрические ячейки могут двигаться либо слева направо, либо справа налево

любой флуктуации вертикальная скорость возрастает. Эту новую ситуацию можно показать наглядно точно так же, как мы уже делали это в начале главы (рис. 4.16). Когда же цилиндрические ячейки наконец стабилизируются, скорость их вращения достигает своего устойчивого конечного значения и не может расти дальше. Теперь шар из нашей модели находится в точке равновесия на поверхности опрокинутой чаши. Сопоставив обе ситуации, мы получим картину изменения скорости движения ячеек, представленную на рис. 4.17. Поскольку направления вращения ячеек слева направо и справа налево равнозначны и равновероятны, картина должна быть симметричной, т. е. для скорости действительна схема, изображенная на рис. 4.18. Таким образом, здесь вновь имеет место уже обсуждавшееся ранее нарушение симметрии. Шар, положение которого символизирует скорость вращения ячеек, может, в принципе, занять любое из двух положений, однако только одно из них, что и нарушает симметрию в данном случае. Нарушение симметрии происходит и тогда, когда жидкость совершает свой выбор в пользу одного типа движения — единственного варианта среди практически бесконечного числа возможных. Примером тому может послужить поведение жидкости, помещенной в сосуд круглой формы. В этом случае *ориентация* осей ячеек в горизонтальной плоскости может быть любой; определяется она флуктуацией на микроскопическом уровне. Однако можно задать эту ориентацию и искусственным путем — к примеру, нагревая снизу определенный участок жидкости. На рис. 4.19 показан результат такого нагревания, смоделированного на компьютере. В иных физических условиях искусственное воздействие может привести не только к конкурентной борьбе между различными ячейками, вследствие которой в конечном итоге победит одна из ячеек, но и к тому, что несколько по-разному сориентированных ячеек создадут каждая свою систему, и системы эти смогут сосуществовать в пределах одного сосуда. Известнейший пример такого сосуществования представлен на рис. 4.20. Ячеистые структуры различной конфигурации при этом «опираются» друг на друга, что приводит к взаимной стабилизации; нечто похожее можно наблюдать в треножниках, когда друг на друга опираются три шеста, что дает в итоге весьма устойчивую конструкцию (рис. 4.21). Если суммировать движение отдельных ячеек — а сделать это непросто, — то конечным результатом окажется конфигурация, напоминающая пчелиные соты, и потому называемая «гексагональной». По центру каждой из таких сот жидкость поднимается вверх, а по краям опускается вниз. Если, к примеру, нагреть снизу лыжную мазь в круглой баночке, то возникнет именно гексагональная ячеистая структура.

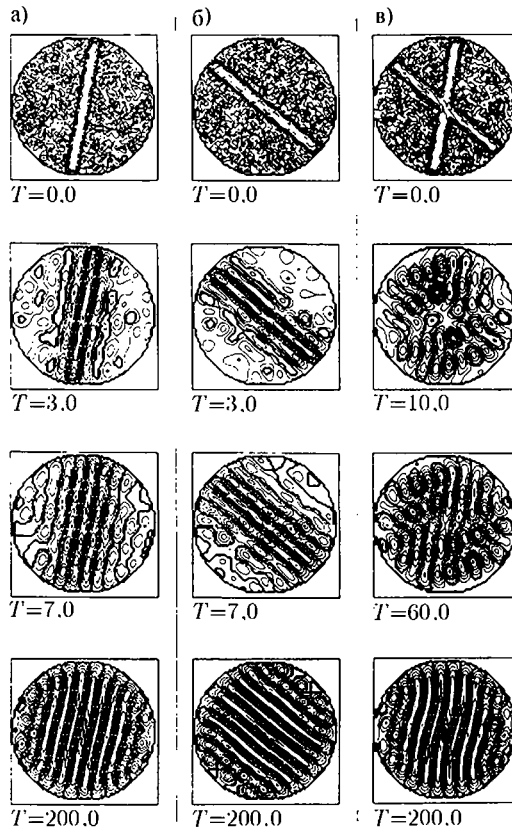


Рис. 4.19. Результаты компьютерного моделирования: образование ячеистых структур в нагреваемой снизу жидкости, помещенной в сосуд, дно которого имеет форму круга. Разница между температурами верхнего и нижнего слоев жидкости подобрана так, что становится возможным возникновение ячеек. Если направление горизонтальной оси ячейки задано изначально, то с течением времени жидкости удастся создать систему ячеек, соответствующую этому образцу. В средней колонке показан аналогичный случай, но здесь заданный образец был сориентирован иначе. В правой колонке ситуация изменена: заданы два образца, один из которых несколько «сильнее» другого. В результате конкурентной борьбы именно он побеждает, и в жидкости образуется система ячеек, соответствующая этому образцу

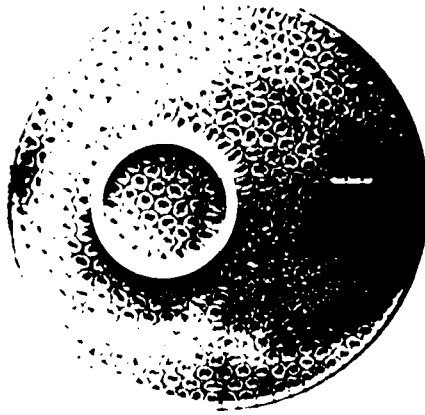
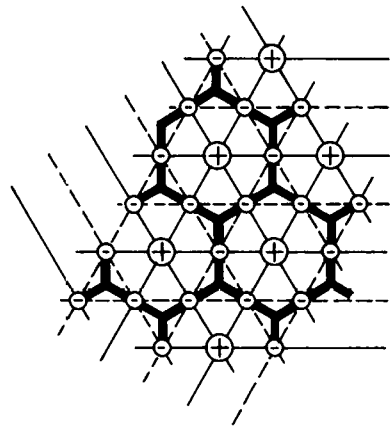


Рис. 4.20. Гексагональная ячеистая структура, напоминающая пчелиные соты: в центре каждой ячейки жидкость движется вверх, а по краям — вниз

Рис. 4.21. Схематическое изображение процесса перегрушировки ячеек, сортированных различным образом, в результате которого образуется гексагональная ячеистая система, показанная на рис. 4.20. Знаки «плюс» символизируют движение жидкости вверх, а знаки «минус» — вниз. Сплошной и штриховой линиями показаны границы соответствующих цилиндрических ячеек: вдоль первых жидкость поднимается вверх, вдоль вторых — опускается вниз. Жирной линией даны границы возникающих при этом гексагональных ячеек, вдоль которых жидкость движется вниз



Этот пример показывает, насколько широким оказывается в данном случае спектр понятия «жидкость». Собственно, здесь можно говорить даже о вулканической лаве, которая, застывая, образует шестигранные блоки. В соленых озерах, нагреваемых снизу теплом земных недр, порой выкри-

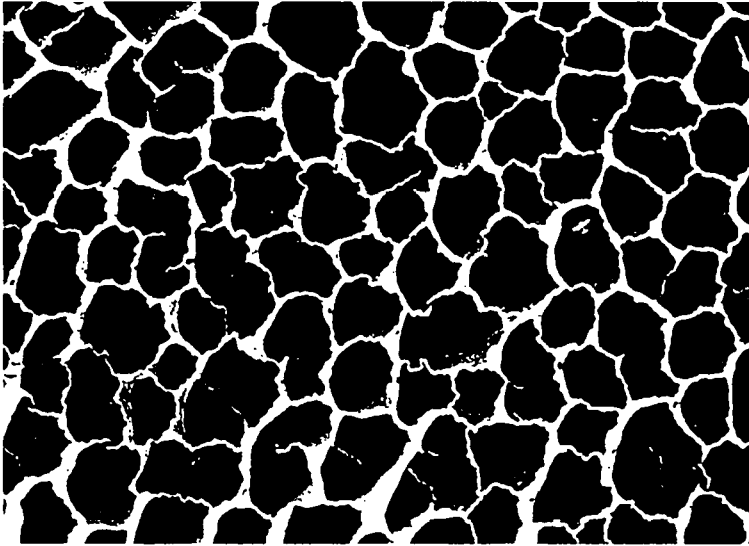


Рис. 4.22. Шестиугольные (гексагональные) соляные образования. Образец со дна пересохшего соленого озера в восточной Африке

сталлизовываются пластины соли в виде более или менее шестиугольных ячеистых образований. На рис. 4.22 представлен именно такой образец, заселенный бактериальной культурой красного цвета.

На поверхности Солнца астрономы наблюдают структуры, называемые пятнами или гранулами. Можно предположить, что и они обязаны своим возникновением описанному выше феномену (рис. 4.23).

При дальнейшем нагревании жидкости из нашего примера гексагональная структура будет вытеснена цилиндрическими ячейками, т. е. вместо картины, представленной на рис. 4.20, в жидкости возникнет движение, схема которого показана на рис. 4.6. Математический анализ (подробности которого мы вынуждены, естественно, опустить) допускает отчасти забавное, но все же наводящее на размышления объяснение. Под влиянием изменившихся условий между тремя начальными конфигурациями, стабилизировавшимися друг друга ради создания гексагональной структуры, возникает конкурентная борьба; в результате опять-таки случайной флуктуации в этой борьбе побеждает только одна из конфигураций. Именно она начинает

управлять всей системой, подчинив себе остальные ячейки, и движение, определяемое ею, подавляет все прочие типы движения в системе.

Описания такого рода демонстрируют, насколько слились здесь представления о природных феноменах с представлениями, бытующими в социологии и психологии. Преимущество рассматриваемых здесь процессов заключается, однако, в том, что мы можем математически точно рассчитать каждый из них и исследовать.

Совершенно разнородные процессы в природе подчиняются — что поразительно! — одним и тем же закономерностям, и в нашей книге будет приведено еще множество примеров в подтверждение этого наблюдения.

Однако уже сейчас имеющиеся у нас знания позволяют установить основной принцип. При изменении внешних условий (например разницы между температурами верхнего и нижнего слоев жидкости) прежнее состояние системы (в нашем примере — состояние покоя) становится неустойчивым и заменяется новым макроскопическим состоянием. Вблизи от точки перехода система «тестирует» новые возможности упорядочивания макроскопического состояния посредством непрерывных флуктуаций. Начиная с самой точки неустойчивого равновесия и в последующие моменты времени новые конфигурации коллективного движения набирают все большую силу и в конце концов вытесняют все прежние конфигурации. При этом имеет место не



Рис. 4.23. Пятна на Солнце

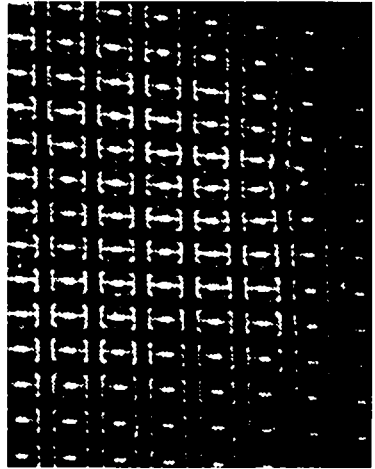


Рис. 4.24. Вид сверху на поверхность слоя жидкости, нагреваемой снизу: образование конфигурации из двух взаимно перпендикулярных цилиндрических структур

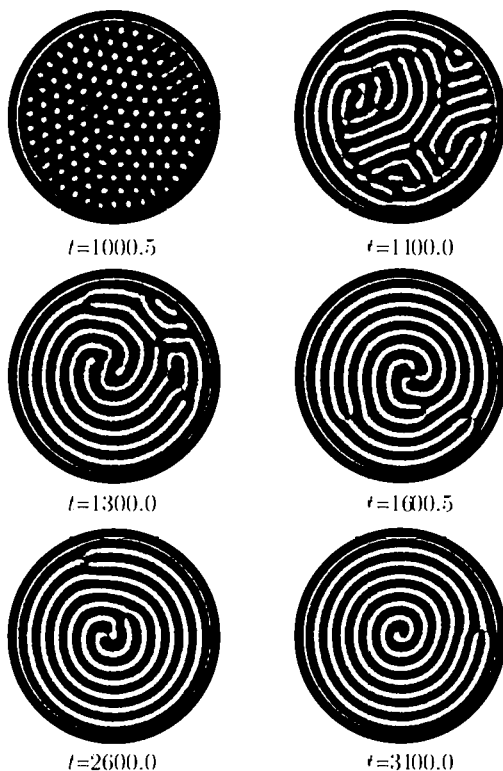


Рис. 4.25. При нагревании не только дна, но и стенок сосуда круглой формы возможно преобразование гексагональной ячистой структуры в спиральную: показаны фрагменты процесса

только конкурентная борьба, но и своего рода кооперация равноправных конфигураций, приводящая к возникновению новых структур. В отличие от фазовых переходов в условиях температурного равновесия здесь система находится в непрерывном движении, и нам приходится рассматривать ее в динамике. Иногда при создании новых структур окончательно определиться помогает внешняя форма. Например, нагревая жидкость в сосуде прямоугольной формы, мы могли наблюдать сосуществование двух перпендикулярных друг другу цилиндрических ячеек, явившихся основой для конфигурации, показанной на рис. 4.24.

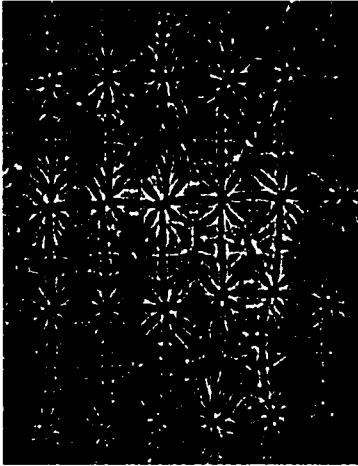


Рис. 4.26. Вид сверху на поверхность слоя нагреваемой снизу жидкости: возникшая конфигурация сложностью рисунка напоминает узор на ковре

Еще один пример того, насколько значительным может оказаться влияние внешней формы, приведен на рис. 4.25. Экспериментально подтвержденная теория показывает, что при нагревании, не ограниченном только дном сосуда с жидкостью, гексагональная структура (рис. 4.20) замещается спиральной конфигурацией.

Возможны и еще более сложные конфигурации: одна из них показана на рис. 4.26. Подобные структуры уже не статичны, и их непрерывное «пульсирующее» движение, которое может даже навести на мысль о дышащей жидкости, можно наблюдать невооруженным глазом.

Ступенчатые конфигурации

Упорядоченные конфигурации движения жидкости могут возникать не только в результате нагревания.

В лабораторных условиях довольно просто осуществить следующий эксперимент. Возьмем два коаксиальных цилиндра и заполним пространство между ними жидкостью; затем начнем вращать внутренний цилиндр. При вращении происходит следующее: жидкость как бы разделяется на два слоя — внешний и внутренний. При небольших скоростях вращения внутреннего цилиндра образуются концентрические линии обтекания. Однако при повышении скорости до значений, превосходящих критическое,

возникает совершенно иной тип движения жидкости (рис. 4.27а). Образующиеся при этом цилиндрические ячейки оказываются изогнуты наподобие франкфуртских сосисок. При дальнейшем повышении скорости вращения внутреннего цилиндра ячейки начинают вибрировать, вызывая циркуляцию жидкости (рис. 4.27б). При дальнейшем увеличении скорости картина усложняется (рис. 4.27в). На последней ступени этой лестницы мы еще раз увеличиваем скорость вращения и наблюдаем процесс полной смены картины движения жидкости: теперь перед нами совершенно неупорядоченное движение, иначе называемое турбулентностью; в последнее время используется также термин «детерминированный хаос» (рис. 4.27г).

Этот пример наглядно иллюстрирует ступенчатое образование сложных структур из более простых посредством самоорганизации. Переходя на язык синергетики, можно сказать, что в жидкости сменяют друг друга все новые параметры порядка.

Последующий переход системы к полностью разупорядоченному, хаотическому движению заставляет предположить, что в данном случае параметр порядка теряет над системой всякую власть. Однако к этому мы вернемся позднее, в главе 12.

Описанный пример очень важен еще и потому, что демонстрирует возможность возникновения хаотического движения в системе, в которой при совершенно определенных экспериментальных условиях протекали процессы самоорганизации. В последние годы исследования такого хаотического движения переживают период бурного развития. Математические модели показывают, что подобного рода явления неизбежны не только в физике, но и в далеких, казалось бы, от физики областях — например в экономике. Причем в свете полученных результатов некоторые догмы экономической теории окажутся, по всей видимости, не у дел. Читателям, которые сейчас готовы прийти к выводу, что самоорганизация ведет к хаосу, а организация (т. е. внешнее управление), напротив, может помочь избежать хаоса, будет, возможно, небезынтересно узнать, что самоорганизующуюся систему чаще всего приводят к хаосу именно контролируемые извне процессы.

Еще раз ненадолго вернемся к физике. Возникновение все более сложных конфигураций движения в жидкости — феномен, очень широко известный в гидродинамике (рис. 4.28). На рисунке изображен обтекаемый жидкостью цилиндр, причем изменения конфигураций движения жидкости при увеличении ее скорости в ходе эксперимента показаны на отдельных схемах: различные конфигурации, приводящие в конечном счете к образованию завихрений, возникают в строго определенной последовательности.

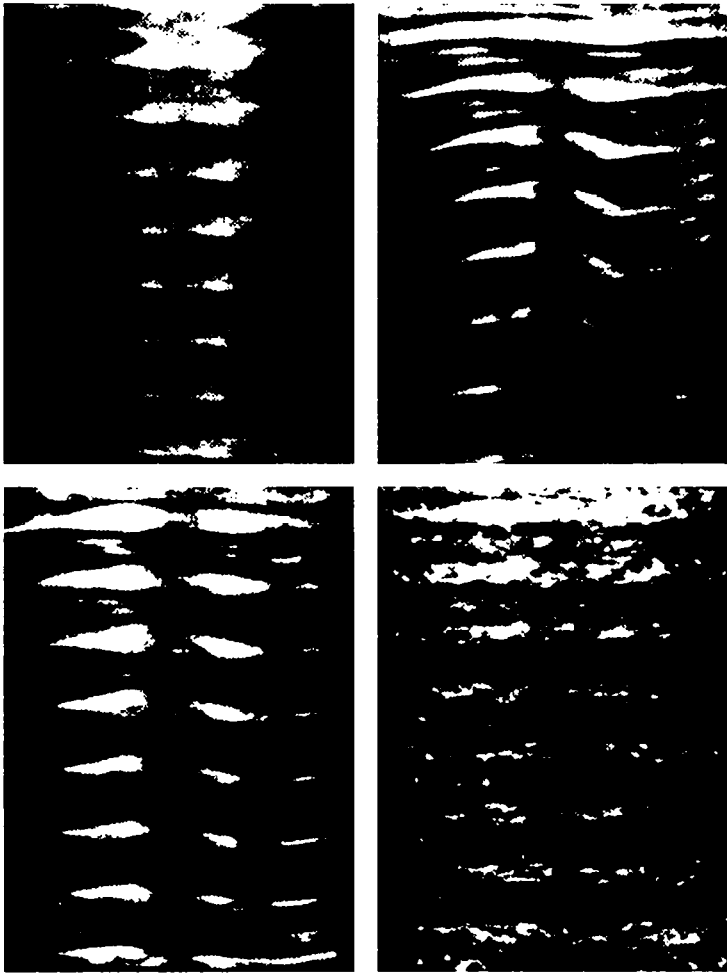


Рис. 4.27. Движение жидкости между двумя коаксиальными цилиндрами. Наружный — прозрачный — цилиндр покоится, а внутренний вращается. В зависимости от скорости вращения внутреннего цилиндра в жидкости возникают различные конфигурации: а) ячейки похожи на сосиски, уложенные вокруг внутреннего цилиндра, б) ячейки начинают совершать колебания, в) движение ячеек все более усложняется и г) приобретает беспорядочный, хаотический характер

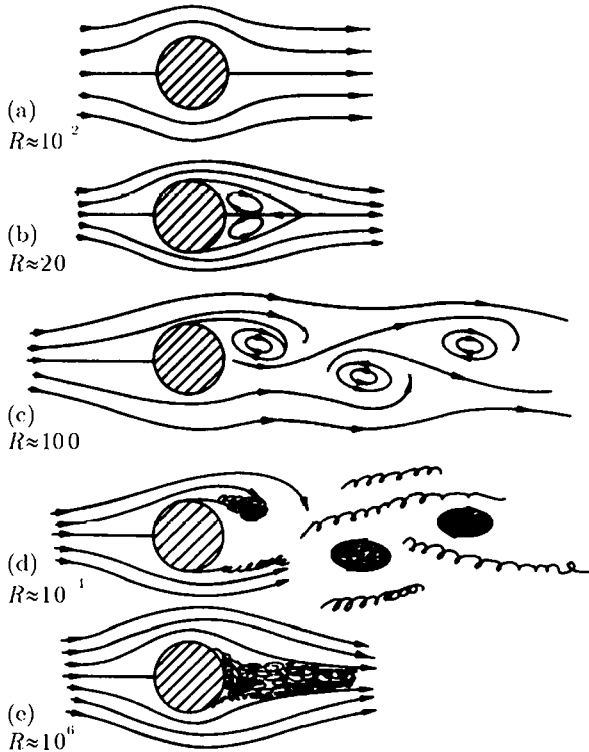


Рис. 4.28. Схема изменения конфигураций движения жидкости, обтекающей цилиндр. Увеличение скорости обтекания ведет к усложнению конфигураций

Все эти феномены могут показаться всего лишь курьезами, а изучение их — не более чем игрой. Однако в начале главы мы уже упоминали об образовании облаков, а описываемые явления имеют к этому процессу самое непосредственное отношение, хотя и наблюдаются в меньшем масштабе. Этими же феноменами можно объяснить и сдвиги земной коры. На глобусе хорошо заметно, что очертания, например, восточного побережья Южной Америки и западного побережья Африки прекрасно «дополняют» друг друга. Этот лежащий на поверхности факт в сочетании с тщательным научным анализом природы геологических формаций и сопоставлением животного и растительного мира двух материков привели немецкого геолога Альфреда

Вегенера (1880–1930) к созданию теории дрейфа материков. Согласно этой теории, разделившиеся миллионы лет назад материки находятся с тех пор в непрерывном движении, в результате чего в настоящее время их разделяют многие тысячи километров. Конечно, гипотеза эта может показаться чересчур смелой, ведь мы привыкли думать о земной коре как о чем-то незыблемо устойчивом. Однако не следует забывать и о том, что температура в недрах Земли очень высока, и вещество там ведет себя подобно вязкой жидкости. В этом-то все и дело: земную мантию, расположенную между ядром и поверхностью, можно рассматривать как слой жидкости, нагреваемой снизу и обладающей определенной температурой сверху. Образующиеся в такой системе конвекционные потоки движутся подобно описанным выше ячейстым структурам и оказываются в состоянии двигать даже материки, однако процессы эти протекают очень и очень медленно.

Можно провести аналогичный эксперимент с вращением стеклянного шара, наполненного жидкостью. Здесь мы также можем наблюдать возникновение совершенно особого типа движения: нечто похожее на движущиеся по поверхности жидкости полосы, которые могут служить моделью для объяснения структуры газовых поясов в атмосфере Юпитера. Другая модель позволяет моделировать даже Большое Красное Пятно — гигантский вихревой поток в атмосфере этой планеты.

Теоретическая физика и астрофизика способны просчитывать и предсказывать такого рода структурные образования, представляющие собой, в сущности, многочисленные проявления одного и того же феномена — усиления определенной моды с последующей ее самостабилизацией в соответствии с принципом подчинения.

ГЛАВА 5

ДА БУДЕТ СВЕТ — ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТ

Свет свету рознь

В 1960 году я работал в США научным консультантом в Мюррей-Хилл, в компании *Bell Telephone Laboratories*. Американские промышленные концерны, как правило, содержат крупные исследовательские лаборатории (в гораздо бóльших, нежели это принято в Европе, количествах), результаты углубленной научной работы которых эффективно применяются в производстве¹. Очень скоро я был посвящен в главную тайну тогдашней исследовательской деятельности, к которой было подключено немало людей. Рабочие группы пытались создать источник света, который обладал бы совершенно новыми свойствами. Толчок к этим разработкам был дан в 1958 году публикацией результатов Артура Шавлова и Чарлза Таунса. Еще раньше, в 1954 году, Таунс совместно со своими сотрудниками сконструировал прибор, генерировавший так называемые микроволны абсолютно новым способом. Эти микроволны, так же как и радиоволны, являются электромагнитными. Такие волны не воспринимаются нашими органами чувств, однако это ничуть не умаляет реальности их существования. Представьте себя на берегу моря темной — хоть глаз выколи — ночью: самих волн вы не видите, однако вполне способны сделать вывод об их наличии, если

¹В настоящее время, впрочем, картина существенно изменилась. Американское управление картелями расформировало *AT&T*, которой принадлежала и компания *Bell Telephone Laboratories*, вследствие чего кардинальным образом изменилась и исследовательская политика: фундаментальные исследования уступили место прикладным. В других фирмах дела обстоят практически так же. Бернардо Губерман, занимающийся моделированием социальных конфликтов, перечисляя важные последствия такой смены политики, указывал и на такое: «Если каждая фирма решит, что ей незачем заниматься фундаментальными исследованиями, потому что можно воспользоваться чьими-то готовыми результатами и не тратить денег на собственные лаборатории, то в конце концов исследовательские работы вести будет некому, и источник новых открытий иссякнет.» К синергетическим эффектам такого рода (со знаком «минус») мы еще вернемся в главе 14.

на волнах качается вверх-вниз лодка с фонарем. Примерно так же обстоит дело и с электромагнитными волнами. Доказательством их существования можно считать, например, радио: после определенных преобразований электромагнитные колебания становятся слышимыми для человека.

Задача *Bell Telephone Laboratories* (как и конкурирующих с ними лабораторий — ох уж эта неперемнная американская конкуренция!) заключалась в том, чтобы изготовить источник световых волн, основанный на принципе Таунса. Принцип этот получил название «мазер». «Мазер» — как и многие другие термины в современной науке — слово придуманное; можно даже сказать, что это лингвистическая шутка. Оно составлено из начальных букв английских слов (смысл которых для большинства неподготовленных читателей до сих пор остается несколько туманным): *Microwave Amplification (by) Stimulated Emission (of) Radiation*. В переводе это означает «усиление микроволн в результате вынужденного излучения» — так понятнее, но ненамного. А вот слово «лазер» (*Light Amplification (by) Stimulated Emission (of) Radiation*) прижилось очень быстро, хотя вся разница заключается в замене «микроволн» на «свет».

Однако не будем останавливаться на причудах словообразования; поговорим о том, насколько велика дистанция между обычной лампой и лазером. Чтобы по достоинству оценить прорыв, совершенный человечеством благодаря этому открытию, следует сначала вкратце обсудить лампы и излучаемый ими свет. Этот краткий экскурс не отвлечет нас от главной цели — напротив, в ходе рассуждений читатель получит ясное представление об идеях, лежащих в основе синергетики.

В качестве примера обычной лампы возьмем так называемую газоразрядную трубку — стеклянную трубку, заполненную каким-либо инертным газом (например неоном). Атом газа состоит из положительно зараженного ядра и нескольких отрицательно заряженных электронов, кружащихся вокруг этого ядра подобно планетам вокруг Солнца. Для простоты и краткости в дальнейшем мы будем рассматривать поведение только одного электрона, так называемого «светового» электрона (рис. 5.1). Датский физик Нильс Бор в 1913 году установил, что электрон может занимать только строго определенную орбиту, все же прочие для него оказываются «под запретом». Обоснование такого поведения было дано квантовой теорией, согласно которой электрон ведет себя не только как частица, но еще и как волна, которая при обращении вокруг ядра атома вынуждена ловить собственный «хвост»; в этом и заключена причина существования для каждого электрона только одной строго определенной орбиты. В нормальных условиях электрон

движется по самой «глубокой колее» — в некотором смысле, по дну потенциальной ямы (рис. 5.2). Если пропустить через трубку электрический ток, передающийся, как известно, множеством свободно движущихся электронов, то эти электроны будут сталкиваться с отдельными атомами газа. При этом световой электрон атома может «перескочить» со своей орбиты на другую, более высокую (с более высоким энергетическим уровнем) (рис. 5.3), а затем спонтанно (т. е. совершенно самопроизвольно, в непредсказуемый момент времени) вернуться на прежнюю орбиту. Освобожденную при этом энергию он отдаст в виде светового излучения (рис. 5.4) и продолжит движение по низкой орбите (рис. 5.5). Таким образом возникает световая волна — точно так же, если бросить в воду камень, возникает волна на поверхности воды.

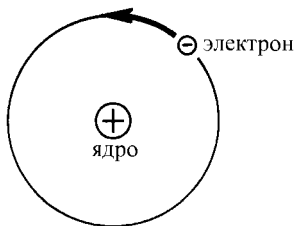


Рис. 5.1. Схема строения атома на примере атома водорода: отрицательно заряженный электрон движется по орбите вокруг положительно заряженного ядра

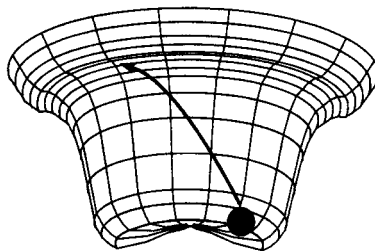


Рис. 5.2. Движение электрона (черный кружок) вокруг атомного ядра. При получении энергии извне (например, при освещении) электрон, движущийся по нижнему желобу, может покинуть его и подняться на более высокий энергетический уровень

Естественно, такую судьбу разделяют множество световых электронов, находящихся в газоразрядной трубке. Они производят световые волны; общая картина при этом сходна с той, что получалась бы на поверхности воды от беспорядочного забрасывания ее камнями, т. е. совершенно хаотичное движение, состоящее из отдельных волновых цугов, напоминающих спагетти. При увеличении силы тока, пропускаемого через газ, в возбужденное состояние переходит все большее количество атомов; можно ожидать, что плотность цугов также увеличится. Многие физики именно так и полагали.

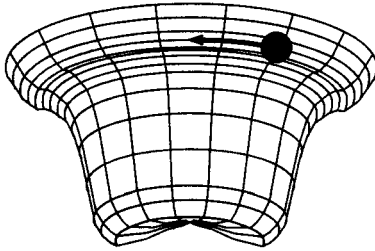


Рис. 5.3. Электрон движется по более высокой орбите; такое состояние атома называется возбужденным

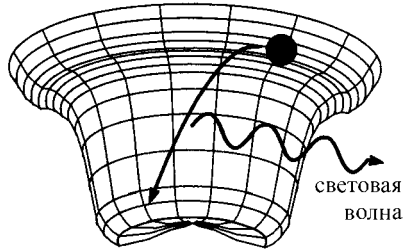


Рис. 5.4. С верхнего желоба электрон переходит обратно на нижний, испуская при этом энергию в виде световой волны

В лазере же происходит нечто совершенно иное; я первым смог показать это в своей теории лазера (и до сих пор горжусь этим). Вместо беспорядочной толкотни в лазере возникнет абсолютно упорядоченный, практически бесконечный волновой цуг. Эксперименты, которые затем проводились в разных лабораториях по всему миру, целиком и полностью подтвердили этот прогноз. В этом, собственно, и заключается разительное отличие света обычной лампы от излучения лазера. Поясним происходящее при этом чудо, используя аналогию.

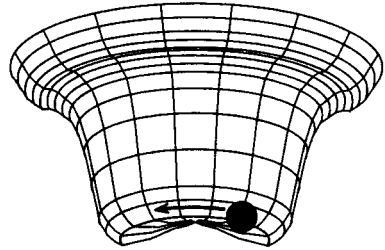


Рис. 5.5. Электрон снова движется по прежнему, низкоэнергетическому, желобу

Вообразим себе атомы в виде маленьких человечков, стоящих с шестами на берегу наполненного водой канала (рис. 5.6); вода при этом будет символизировать световое поле. Находящаяся в состоянии покоя поверхность воды соответствует случаю, в котором световое поле отсутствует, т. е. темноте. Когда человечки погружают свои шесты в воду, состояние покоя нарушается, и поверхность приходит в движение — появляются волны. Эта ситуация соответствует возникновению вокруг атомов световых полей. Это движение совершенно неупорядочено — такое имеет место в обычной лампе. Однако представим, что человечки действуют согласованно, как по команде, и опускают шесты в воду одновременно, отчего на

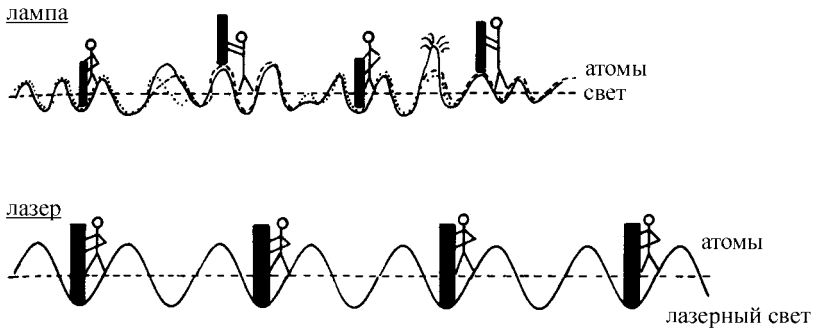


Рис. 5.6. Принцип действия лампы и лазера. Человечки с шестами стоят на берегу канала, наполненного водой. На верхней картинке они опускают свои шесты в воду независимо друг от друга. Бурное движение водной поверхности соответствует световому полю обычной лампы. Изображенные на нижней картинке человечки погружают свои шесты в воду синхронно; возникающая при этом синхронная волна соответствует свету лазера

поверхности воды возникает равномерное движение. Будь наши атомы-человечки настоящими людьми, было бы понятно, каким образом достигается слаженность действий: рядом стоит какой-то босс или шеф и выкрикивает команду, точно регулирующую моменты спуска и подъема шестов. В то же время лазер является примером упорядоченного состояния, реализуемого посредством самоорганизации: хаотичное движение здесь переходит в упорядоченное; для синергетики лазер оказывается просто незаменимым, образцово-показательным примером, который можно использовать в качестве аллегории для очень многих процессов вплоть до социальных.

Однако прежде чем мы двинемся дальше, нам следует в очередной — и отнюдь не в последний! — раз углубить основную идею синергетики, иначе может показаться, что мы бездумно и не имея к тому серьезных оснований переносим знания о физической природе мира на сложнейшие явления, имеющие место в человеческом обществе. На примере лазера мы можем без лишних усложнений разобраться в некоторых вопросах, и это — пусть всего на шаг — приблизит нас к пониманию процессов, протекающих в живой природе.

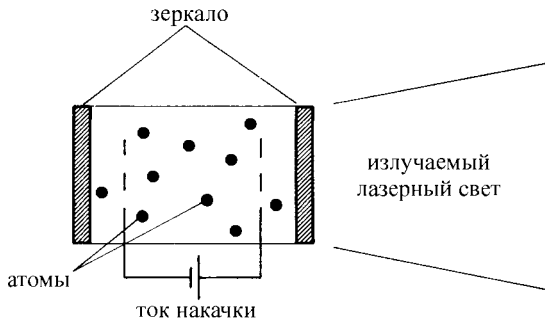
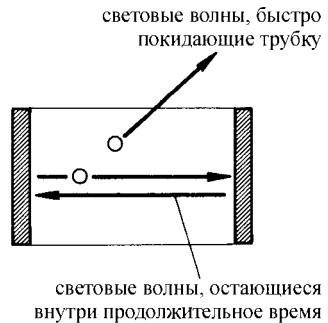


Рис. 5.7. Устройство типичной лазерной установки

Самоорганизация в лазере

Рассмотрим подробнее процессы, протекающие в лазере — это поможет нам раскрыть тайну самоорганизации. Лазер отличается от обычной газоразрядной трубки только наличием зеркал (рис. 5.7). Зеркала нужны для того, чтобы свет, движущийся вдоль оси трубки, как можно дольше оставался внутри трубки (рис. 5.8). При этом одно из установленных зеркал частично проницаемо, благодаря чему некоторое количество света излучается наружу. Почему же желательно по возможности дольше удерживать свет внутри лазерной установки?

Рис. 5.8. Световые волны, оказавшись между зеркалами, могут вести себя по-разному: те, что движутся в направлении, точно совпадающем с осью трубки, отражаются от зеркал и остаются в лазере более продолжительное время, а все остальные быстро покидают пределы трубки



При таких условиях начинается процесс, еще в начале двадцатого века предсказанный Эйнштейном. Уже возникшие световые волны могут прину-

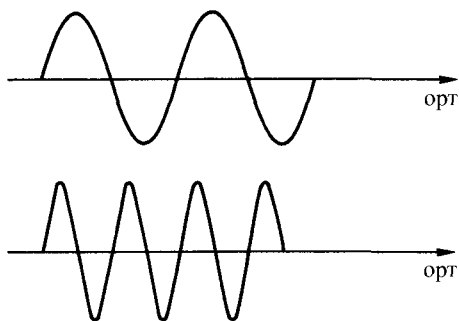


Рис. 5.9. «Волна волне рознь»: примеры волн с различными фазами, т. е. с разными расстояниями между гребнями

дить возбужденные световые электроны к синхронным колебаниям. С электронами происходит то же самое, что и с увлечшимся чечеточником, который усиливает ритм, задаваемый музыкантами, и под конец, обессилев и целиком выложившись, буквально валится с ног. Электрон усиливает световую волну, т. е. поднимает ее гребень, до тех пор, пока не отдаст волне всю свою энергию и не вернется в начальное состояние — состояние покоя.

Поскольку благодаря зеркалам световые волны относительно долго остаются внутри лазера, они могут подчинять себе все больше и больше световых электронов, используя их для того, чтобы увеличить собственную амплитуду, т. е. высоту гребня волны. Но и волны с одинаковой амплитудой все же могут отличаться друг от друга: одинаковые по высоте гребни волн могут следовать на разном расстоянии друг от друга (рис. 5.9). Таким образом, у «источков» каждого лазерного излучения стоят одновременно совершенно разные волны, успевшие на данный момент сформироваться благодаря усилиям нескольких особо «прытких» электронов. Волны вступают в конкурентную борьбу за усиление своего влияния на возбужденные электроны. Сами электроны тоже по-разному относятся к различным волнам, зачастую при передаче энергии отдавая какой-то определенной волне некоторое предпочтение; предпочтением этим пользуются те волны, частота которых оказывается ближе всего к «внутреннему ритму» самого электрона. И хотя такие особые волны часто имеют лишь очень небольшое преимущество, степень их влияния лавинообразно растет, и в конце концов они одерживают верх над остальными. В результате такого тотального подавления

вся энергия световых электронов оказывается собрана в единую абсолютно равномерно колеблющуюся волну. И наоборот: стоит только какой-то волне добиться успеха, как она подчиняет себе каждый вновь возбуждаемый электрон, навязывая ему свою собственную частоту колебаний. Возникающая таким образом новая волна определяет своим поведением порядок в лазере — она играет роль параметра порядка; термин этот уже не раз нами упоминался.

Поскольку параметр порядка вынуждает отдельные электроны двигаться совершенно синхронно и тем самым определяет их действия, мы снова можем сказать, что параметр порядка «порабощает», подчиняет себе отдельные элементы системы. Верно и обратное: параметр порядка (т. е. световая волна) есть результат синхронных колебаний отдельных электронов. Возникновение параметра порядка, с одной стороны, и когерентного поведения электронов — с другой, взаимно обуславливают друг друга; в таких случаях принято говорить о циклической причинности. Перед нами еще один типичный пример синергетического поведения. Для обеспечения синхронности колебаний электронов должен существовать параметр порядка (в данном случае эту роль выполняет световая волна). Однако существование самой световой волны возможно только благодаря синхронным колебаниям электронов. Словом, все выглядит так, что мы должны бы задействовать некую высшую силу, единожды создавшую некое изначальное состояние упорядоченности, которое затем сможет самостоятельно поддерживать свое существование. Однако в действительности все происходит иначе. В самом начале имеет место конкурентная борьба и процесс отбора, в результате которого все электроны становятся «рабами» какой-то определенной волны. При этом интересно отметить, что все волны, совершенно случайно — спонтанно — порожденные электронами, должны быть рассортированы в соответствии с законами конкурентной борьбы, т. е. пройти через некий отбор. Перед нами типичный для синергетики пример взаимоотношений между случайностью и необходимостью: «случайность» здесь воплощена в спонтанном излучении, а «необходимость» — в неумолимом законе конкуренции и отбора.

Лазер: открытая система с фазовым переходом

Можно ли любую лампу превратить в лазер, просто добавив к ней зеркала? Собственно, почти так оно и есть, однако следует подробнее рассмотреть один ключевой момент. Световые волны, испускаемые возбужденными

электронами в обычной лампе, разбегаются прочь с такой быстротой, что другие электроны практически не имеют времени на то, чтобы поддержать колебания этих волн. Это значит, что вынужденное излучение состояться не может, и отдельные волновые пуги оказываются не в состоянии хоть сколько-нибудь «продлить себе жизнь». Лампа испускает самые различные волны таким образом, что они совершенно не зависят друг от друга. Зеркала в лазере предназначены для того, чтобы воспрепятствовать движущимся в осевом направлении волнам покинуть лазер — для того чтобы осталось достаточно времени для усиления волн посредством вынужденного излучения. Однако не существует зеркал, совершенных настолько, чтобы удержать свет в лазере вечно; кроме того, имеются и другие причины, по которым свет «теряется» (например рассеяние). Разумеется, при любом применении лазера часть света зеркала должны выпускать: в конце концов, лазерный свет нужен нам для того, чтобы что-нибудь им облучать.

Таким образом, задача генерации лазерного света становится задачей чисто количественной. Необходимо возбуждать световые электроны атомов газа с такой скоростью, чтобы они оказались в состоянии усиливать световые волны достаточно быстро и эффективно для того, чтобы компенсировать потери от несовершенства зеркал. Другими словами, мы должны постараться устроить все так, что потери энергии волн покрывались бы энергией, получаемой в результате вынужденного излучения. Итак, переход от света обычной лампы к лазерному свету происходит скачкообразно при повышении силы электрического тока, пропускаемого нами через газоразрядную трубку. Существует некое критическое значение силы тока, при котором состояние лазера радикально изменяется — даже в том случае, если ее изменение ничтожно малó. Работу лазера мы можем поддерживать единственным способом: постоянно снабжая его энергией (например в виде электрического тока). Одновременно лазер будет постоянно излучать энергию в виде лазерного света (не будем забывать и о тех неизбежных потерях энергии, которые уже упоминались). Лазер, таким образом, постоянно обменивается энергией с окружающим миром, а значит, является *открытой* системой. В то же время лазер является системой, чрезвычайно далекой от теплового равновесия — точно так же, как двигатель внутреннего сгорания.

Скачкообразное возникновение макроскопического состояния упорядоченности очень напоминает поведение ферромагнетика или сверхпроводника, при котором также возникают состояния с совершенно новыми физическими свойствами. Правда, эти системы находятся в состоянии теплового равновесия с окружающей средой, что и отличает их от нашего случая.

Именно поэтому многие физики были поражены, когда мы в Штутгарте, одновременно с группой наших американских коллег, смогли установить, что фазовый переход в лазере демонстрирует все свойства, характерные для обычных фазовых переходов, в том числе критические флуктуации и нарушение симметрии. Таким образом, лазер стал как бы мостом между неживой и живой природой. Состояние упорядоченности в лазере поддерживается за счет процессов самоорганизации, протекающих благодаря притоку дополнительной энергии извне. Лазер — как и все биологические системы — система открытая.

Интересный мостик к физиологическим процессам выстраивается, прежде всего, в ходе исследований химических лазеров, где происходит своего рода обмен веществ. Химический лазер нуждается в водороде и фторе; эти вещества очень активно вступают в реакцию друг с другом. В результате между атомами водорода и фтора возникает новое «партнерство», причем химическая реакция протекает настолько бурно, что вызывает возбуждение световых электронов, а они, в свою очередь, генерируют лазерный свет уже знакомым нам способом.

В данном случае энергия создается в ходе химических реакций. Химическая энергия, высвобождаемая в виде тепла, преобразуется при этом в конечном счете в строго упорядоченную энергию синхронного движения волн лазерного света. Перед нами своего рода обмен веществ, при котором низкоуровневая энергия горения преобразуется в высокоуровневую энергию лазерного света. Нечто похожее происходит в двигателе, цилиндр которого наполнен газовой смесью. Тепловая энергия, распределенная по многим степеням свободы, преобразуется здесь в кинетическую энергию поршня, которая, собственно, и заставляет автомобиль двигаться. В дальнейшем мы еще не раз столкнемся с тем, что подобная трансформация микроскопических энергий в макроскопическую энергию с меньшим числом степеней свободы оказывается одним из основных принципов протекания биологических процессов.

Лазер можно заставить работать не только повышая силу тока и увеличивая тем самым частоту возбуждений отдельных электронов. Следует обратить внимание и на другой процесс, при котором мощность накачки остается прежней, но число атомов в лазере постоянно увеличивается. Исследования показывают, что до тех пор, пока количество атомов в лазере не достигает определенного значения, он действует в режиме обычной лампы, но как только число атомов увеличится до критического, возникает лазерный свет. В сущности, перед нами переход количества в качество.

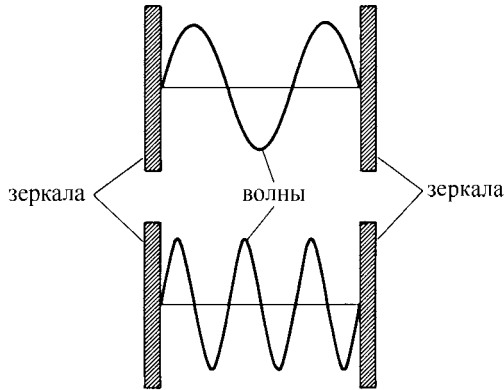


Рис. 5.10. Между двумя зеркалами распространяются только совершенно определенные волны

Приведенные примеры показывают, что процессы самоорганизации могут быть запущены различными способами. В дальнейшем, обратившись к биологии, мы займемся этой темой подробнее.

С другой стороны, мостик к биологии можно перебросить и на основе уже имеющихся примеров. Благодаря использованию зеркал в лазере мы создаем для атомов и генерируемых ими световых волн специфическую «окружающую среду». Физикам известно, что между двумя параллельными зеркалами могут существовать только совершенно определенные световые волны (рис. 5.10). Это означает, что изначально ясно, какие именно волны могут рассматриваться в качестве лазерных. Вполне может случиться так, что волны, «пользующиеся успехом» у световых электронов, окажутся неспособны распространяться между зеркалами. Однако это не приведет к отказу электронов от участия в генерации лазерного света; электроны просто выберут волну с такими характеристиками, которые окажутся ближе всего к «полюбившимся» им ранее волнам (правда, это срабатывает лишь до определенных пределов). При медленном изменении расстояния между зеркалами изменится, соответственно, и процесс испускания электронами лазерного света — электроны приспособятся к новой окружающей среде. Здесь может произойти нечто, достойное весьма пристального рассмотрения. Возможно, что новая волна между зеркалами окажется больше похожа на «предпочитаемую» электронами волну, чем на ту, которой электроны

подчинялись и которую поддерживали до сего момента. В этом случае сначала отдельные электроны спонтанно, в виде флуктуации, отдадут новой волне свою энергию, а вскоре и все остальные электроны поддержат именно эту волну, полностью отказав в поддержке прежней: адаптация к новому «зеркальному окружению» прекратится посредством флуктуации.

В лазере, как и в жидкости, состояние макроскопической упорядоченности может быть достигнуто увеличением количества поступающей энергии. В случае с жидкостью мы повышаем температуру, получая в результате все более и более сложные структурные образования вплоть до возникновения турбулентности; то же и с лазером: при дальнейшем повышении мощности накачки лазер внезапно начинает испускать регулярные невообразимо короткие и интенсивные световые вспышки. Выходная мощность каждой вспышки при этом может быть сопоставима с мощностью всех вместе взятых электростанций США. Длительность же такой вспышки составляет всего триллионную долю секунды. Описанные световые вспышки, называемые также ультракороткими лазерными импульсами, возникают в результате кооперации множества различных волн. Конкуренция между ними прекращается, вытесненная общим мощным усилием. Кроме того, наша теория предсказывает, что лазеры способны генерировать еще один новый тип света — турбулентный свет, что открывает обширную новую область исследования для экспериментальной физики.

Спустя несколько лет после первой публикации этой книги турбулентный, или, как еще его называют, детерминистски-хаотический свет был открыт экспериментально, что блестяще подтвердило прогноз, основанный на нашей теории (см. также главу 12).

ГЛАВА 6

ХИМИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

Химический «марьяж»

Особенно яркими примерами самоорганизующихся структур располагает современная химия. Все мы знаем, что определенные химические вещества способны вступать друг с другом в реакции, образуя при этом новые вещества. Наиболее, пожалуй, известной такой реакцией является процесс горения, при котором какой-либо элемент (например, углерод) соединяется с кислородом. Эта и подобные ей химические реакции становятся возможны только при определенных условиях; в данном случае это некая минимальная температура, необходимая для возгорания. Химики обнаружили, что существует и другой способ запустить химическую реакцию или, по крайней мере, ускорить ее протекание. Реакция, которая прежде не шла вовсе или шла очень медленно, может быть «поддержана» введением в нее определенных веществ. Такими веществами могут быть металлы — например

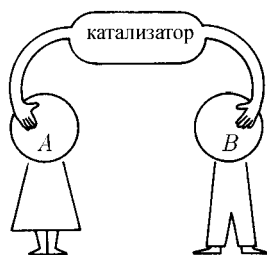


Рис. 6.1. Катализатор в роли химической свахи

пластинка платины; сами они в ходе химической реакции не изменяются, выступая в роли, чем-то похожей на роль свахи: они помогают партнерам соединиться, образовав при этом новое химическое вещество. Эти особые вещества, помогающие вступить в союз другим веществам, называются в химии «катализаторами» (рис. 6.1). В ходе исследований химики столкнулись с явлением, которое сначала воспринималось ими как некая случайная странность, но со временем приобрело довольно серьезное значение. Дело в том, что существуют химические вещества, которые в состоянии служить катализаторами в реакциях получения самих себя. Звучит это, конечно, довольно запутанно, но означает всего-навсего то, что молекулы такого вещества способны в некотором

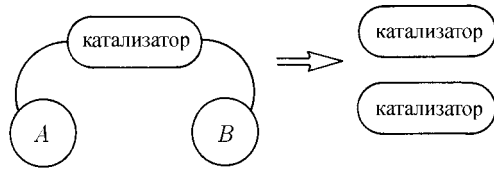


Рис. 6.2. Автокатализ: катализатор соединяет две молекулы таким образом, что получаемые в результате реакции молекулы оказываются идентичны молекуле самого катализатора

смысле самостоятельно размножаться. Им удастся преобразовывать молекулы других веществ таким образом, что в результате возникают новые молекулы их собственного типа (рис. 6.2). В этом процессе уже присутствует нечто, явно схожее по своим свойствам с живой материей, а потому нет ничего удивительного в том, что мы еще столкнемся с этим явлением при рассмотрении теории эволюции. Процессы, подобные описанному, называются автокаталитическими. Что же происходит в ходе химической реакции? При этом нас интересует как микроскопический, так и макрокопический уровень. На микроскопическом уровне вещество состоит из отдельных молекул, а те, в свою очередь, — из атомов. Допустим, некие молекулы двух видов — назовем их вид 1 и вид 2 — вступают в химическую реакцию, в результате которой образуется молекула нового вида (скажем, вида 3). При этом новое вещество может обладать иными химическими и физическими свойствами — например другим цветом. В этом можно легко убедиться, проведя несколько опытов: смешав две жидкости разных цветов — голубую и бесцветную — мы вдруг получаем жидкость красного цвета (рис. 6.3). Полученная жидкость обычно совершенно равномерно окрашена и не теряет свой цвет со временем. Впрочем, так случается «обычно» — но не всегда; тут мы подбираемся, собственно, к главной теме этой главы. Дело в том, что в XX веке учеными было обнаружено несколько довольно сложных химических реакций, в ходе ко-

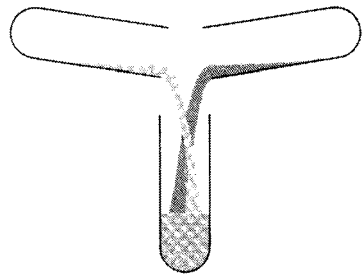


Рис. 6.3. Соединение двух различных химических веществ обычно приводит к возникновению гомогенного конечного продукта

торых образовывались макроскопические структуры, своими размерами в миллиарды раз превосходящие размеры молекул исходных веществ.

Химические часы

Начнем с самого известного примера: с реакции, открытой русским ученым Б. П. Белоусовым, а позднее систематически исследованной А. М. Жаботинским. Реакция эта весьма сложна, и мы не будем здесь останавливаться на подробностях ее проведения. Нас интересуют прежде всего образующиеся в ходе этой химической реакции структуры. С течением

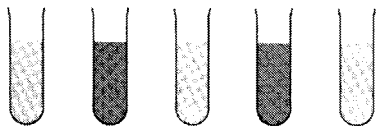


Рис. 6.4. Периодическая смена цвета жидкости с красного на голубой в реакции Белоусова – Жаботинского

времени цвет жидкости, получаемой в результате описываемой реакции, изменяется с красного на голубой, затем с голубого снова на красный, и т. д. (рис. 6.4). Химическую реакцию такого рода можно рассматривать как своеобразные химические часы (ведь часы суть не что иное, как инструмент, непрерывно отмеряющий периоды определенной длительности). Здесь необходимо отметить,

что в первоначальном эксперименте вещества, единожды соединившись, основательно и окончательно перемешиваются, а затем полученная однородная жидкость, предоставленная сама себе, демонстрирует периодическое изменение своего цвета. Еще одна подробность: смена цвета жидкости продолжается не бесконечно — спустя некоторое время система приходит в однородное равновесное состояние.

Однако условия эксперимента можно изменить таким образом, что система перестанет быть закрытой: для этого в сосуд, где протекает реакция, необходимо постоянно вводить исходные реагенты и выводить из него конечный продукт. В таких условиях реакция периодической смены цвета оказывается в состоянии непрерывно поддерживать собственное течение.

Обнаружение возможности такого рода флуктуаций исключительно значимо для биологии, ведь все физиологические процессы имеют химическую или электрохимическую природу, а многие из них еще и являются периодическими. Следовательно, стоит разобраться в принципах функционирования химических часов, и мы значительно приблизимся к пониманию таких ритмических процессов в организме, как, например, работа сердца.

Здесь нам снова (как и в случае с лазером) придут на помощь концепция параметра порядка и принцип подчинения. При введении в систему исходных реагентов в определенных концентрациях течение реакции становится нестабильным и замещается периодическими изменениями, т. е. флуктуациями, которые играют роль параметра порядка и подчиняют себе отдельные молекулы. Вследствие этих флуктуаций реакция приобретает вынужденно периодический характер, при котором молекулы в едином ритме образуют новые соединения, а затем разрушают их и т. д., так что на макроскопическом уровне мы наблюдаем периодическое изменение цвета жидкости с красного на голубой и обратно. Флуктуационные процессы такого рода можно обработать математически и определить точное значение параметра порядка.

Недавние исследования показали, что связанный с обменом энергией процесс обмена веществ в отдельной клетке протекает в определенном ритме и также является периодическим.

Химические волны и спирали

На свете существует множество еще более прекрасных и сложных явлений. Некоторые из них представлены на рис. 6.5. Мы снова возвращаемся к реакции Белоусова–Жаботинского. Сначала в центрах, случайным образом возникающих на общем красном фоне, образуются голубые точки; затем эти точки становятся голубыми кругами, в центрах которых появляются красные точки, быстро вырастающие в красные круги; в красных кругах образуются голубые точки, и все повторяется сначала. Таким образом, голубые концентрические кольца расходятся вширь. Условия эксперимента можно изменить, проведя по жидкости, скажем, ногтем; результатом станет возникновение спиралей (рис. 6.6).

На первый взгляд, понять причину образования подобных макроскопических структур весьма непросто; воспользуемся для облегчения этой задачи следующим нехитрым примером. Возникновение концентрических колец можно сравнить со степным пожаром. Красный фон станет в таком случае высушенной травой, а огонь в эпицентре пожара в безветренную погоду будет гореть равномерно, распространяя пламя по кругу одинаково во все стороны. Если горящую поверхность обозначить голубым цветом, то сложится следующая картина: небольшая голубая точка разрастается сначала до круглого пятна, а затем расходится все дальше и дальше от эпицентра,

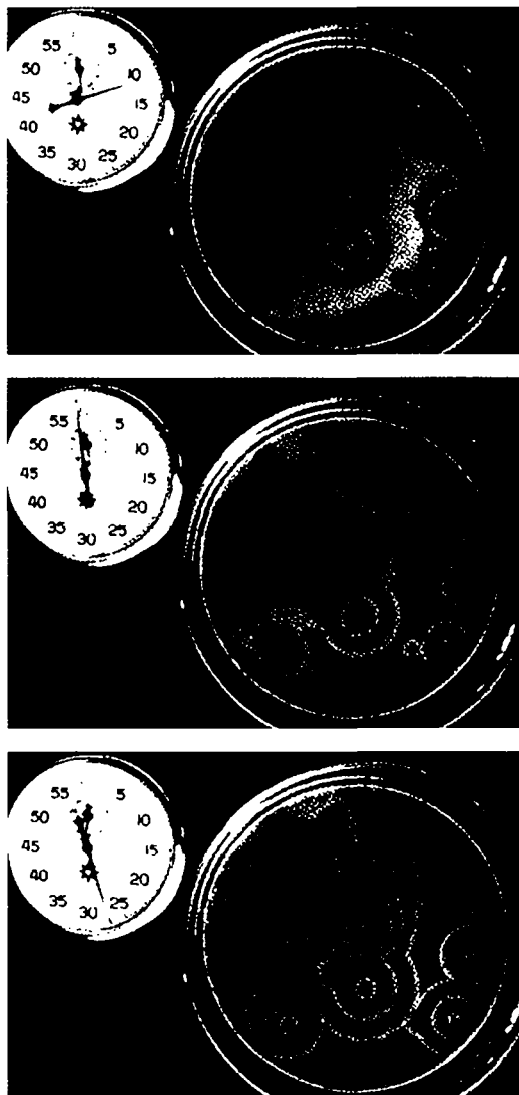


Рис. 6.5. Химические структуры в форме кругов (данный рисунок) и спиралей (рис. 6.6). Круги распространяются наружу, а спирали закручиваются



Рис. 6.6. См. подпись к рис. 6.5

в котором уже снова успела вырасти и высохнуть трава, благодаря чему она на нашей картине вновь выглядит красным и продолжает разрастаться до тех пор, пока трава за линией расширяющегося фронта пожара не высохнет до степени самовозгорания. После этого вся история повторяется сначала. Описываемые здесь химические реакции не нуждаются во внешнем воздействии (для степного пожара таким воздействием является воспламеняющий траву жар солнца). Система сама по себе находится в состоянии, являющемся в известной степени надкритическим, и реакция, ведущая к возникновению голубых точек, начинается самопроизвольно, но в остальном это явление того же рода, что и степной пожар. Выгорание в случае с

травой из нашего примера и появление кругов голубого цвета на красном фоне в реакции Белоусова–Жаботинского означает, что происходят определенные химические трансформации, однако затем наступает фаза обратной реакции, которая приводит к восстановлению прежнего состояния.

Для возникновения волн или спиралей в реакции Белоусова–Жаботинского молекулы реагентов должны сходить друг с другом, а это означает, что они должны обладать способностью к движению. Они и в самом деле движутся, и происходит это благодаря диффузии — явлению, всем нам хорошо знакомому из повседневной жизни. Например, промокнем чернильное пятно на столе листом промокательной бумаги: чернила диффундируют в бумагу, в результате чего мы получим чернильное пятно уже на бумаге. Обсуждаемые здесь макроскопические процессы основаны, таким образом, на взаимопереходах между химическими реакциями с одной стороны, и диффузией — с другой. Такие процессы описываются уравнениями, которые на профессиональном языке называются уравнениями диффузии; здесь мы ими заниматься, естественно, не будем. Важно для нас только то, что математическая обработка и здесь доказывает существование параметра порядка, управляющего развитием пространственно-временных структур. Именно тип параметра порядка определяет возникновение в системе волновых или спиральных структур. В полном согласии с теорией экспериментально были обнаружены также полосатые и гексагональные структуры, аналогичные образующимся в нагреваемой снизу жидкости.

Новый универсальный принцип

На конкретных примерах, взятых из разных областей физики и из химии, мы убедились, что концепция параметра порядка и принцип подчинения встречаются повсюду. Эти понятия красной нитью пройдут через всю книгу. Наблюдая их проявления в химических реакциях, мы впервые осознаем некую новую общность. В основе химических флуктуаций и волн, с которыми мы познакомились, всегда лежат процессы автокатализа. Исходные молекулы своим присутствием и взаимодействием с молекулами другого типа способствуют получению новых молекул своего типа. Это проливает новый свет и на процессы, происходящие в лазере: некая световая волна одним фактом своего существования вынуждает электроны отдавать свою энергию для усиления именно этой волны — налицо не что иное, как процесс автокатализа (рис. 6.7). Идея автокатализа — так же, как и понятие

параметра порядка и принцип подчинения — приобретает значение, далеко выходящее за рамки химии. В некотором смысле и цилиндрическое движение в жидкости носит автокаталитический характер, усиливаясь за счет уже существующего в системе движения такого же типа — пусть минимального и возникшего по чистой случайности. Автокатализ и неустойчивость коллективных форм движения суть одно и то же. Именно здесь мы начинаем понимать, что Природа, по всей видимости, всегда использует для создания упорядоченных макроскопических структур одни и те же принципы.

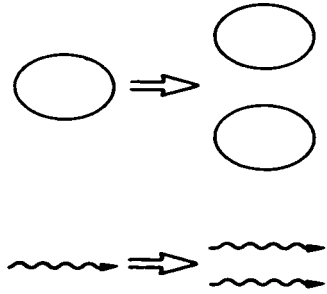


Рис. 6.7. Аналогия между автокаталитической реакцией (вверху) и усилением (или мультипликацией) световых волн в лазере (внизу)

ГЛАВА 7

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ: ВЫЖИВАЕТ СИЛЬНЕЙШИЙ

Еще в начале XIX века происхождение различных видов животных и растений оставалось для человечества тайной Природы, хранимой за семью печатями. Наконец англичанину Чарлзу Дарвину (1809–1882) удалось совершить решительный прорыв. Во время своих многочисленных исследовательских путешествий по далеким странам (например по Южной Америке) внимание Дарвина было поглощено чрезвычайным многообразием животного и растительного мира и изощренностью существующих в природе способов выживания. Результаты многолетнего размышления над увиденным ученый изложил в учении, которое сегодня называют дарвинизмом. Дарвин сформулировал ряд оригинальных тезисов, касающихся возникновения и развития видов в растительном и животном мире; принципы дарвинизма и по сию пору сохранили признание и не забылись. Правда, забылось другое: независимо от Дарвина в то же самое время разработкой точно таких же идей занимался еще один англичанин, Альфред Рассел Уоллес (1823–1913).

За два года до того, как Дарвин получил потрясшее его сообщение Уоллеса с формулировками теории эволюции, то есть в 1856 году, Дарвин написал Чарлзу Лайелю (1797–1875) ставшее теперь знаменитым письмо, в котором объяснял, что он еще не совсем готов к опубликованию своей работы — а Лайель побуждал Дарвина сделать это, пока его никто не опередил. Дарвин пишет: «Мне претит мысль писать только для того, чтобы заявить о своем приоритете, но я, конечно, весьма огорчился бы, если кто-нибудь опубликовал бы мою теорию раньше меня.»¹ (Строка Гёте «Ах, две души живут в моей груди!» характеризует, кажется, многих ученых, и социолог Роберт К. Мертон для иллюстрации этого положения в науке наряду с другими примерами использует и письмо Дарвина.)

¹ Дарвин Ч. *Избранные письма*. (Сост., перев. и прим. А. Е. Гайсиновича; под ред. и с предисл. Н. И. Фейгинсона.) М., 1950, с. 61. — *Прим. перев.*

Удар обрушился на Дарвина в 1858 году: произошло то, о чем предупреждал Лайель — и то, во что не хотел верить Дарвин. Дарвин писал об этом убийственном, ошеломившем его событии Лайелю: «Сегодня я получил от него [Уоллеса] прилагаемую статью, которую он просит переслать Вам. По-моему, она вполне заслуживает внимания. Ваши слова о том, что меня опередят, полностью оправдались. [...] Если бы Уоллес имел мой рукописный очерк, законченный в 1842 году, он не мог бы составить лучшего извлечения! Даже его термины повторяются в названиях глав моей книги. [...] Итак, вся моя оригинальность, какова бы она ни была, разлетится в прах.»²

Скромность и *desinteresse*³ толкали Дарвина к тому, чтобы отказаться от права на приоритет; желание же получить признание и утвердить собственное авторство не позволяло ему смириться с тем, что все потеряно. Сначала Дарвин принимает великодушное, но отчаянное решение вовсе отойти в сторону; однако спустя неделю он снова пишет Лайелю: «Я очень желал бы опубликовать теперь очерк моих общих взглядов, страниц на десять или около того; но я не уверен, будет ли это с моей стороны благородно.»⁴ Снедаемый противоречивыми чувствами, Дарвин заканчивает письмо такими словами: «Мой добрый дорогой друг, простите меня. Это — вздорное письмо, подсказанное вздорными чувствами.»⁵ И далее, в приписке, пытаюсь окончательно очиститься от этих чувств: «Больше никогда не буду докучать Вам и Гукеру этим предметом.»⁶

От этих слов Дарвин отрекается на следующий же день, в очередном письме Лайелю; противоречивые чувства вновь овладевают им. Волею судьбы именно в этот момент Дарвин узнает о смерти сына, Чарлза-младшего. По просьбе своего друга, Джозефа Долтона Гукера (1817–1911), Дарвин высылает ему рукопись Уоллеса и первоначальный вариант своей собственной, в редакции 1844 года: «Я посылаю мой набросок 1844 года только для того, чтобы Вы могли видеть по Вашим собственноручным пометкам, что Вы его читали. [...] Не теряйте много времени. Это жалкая слабость с моей стороны — вообще думать о каком-либо приоритете.»⁷ То, что измученный сомнениями Дарвин не хочет сделать для себя сам, делают для него другие члены научного сообщества.

² Там же, с. 96–97. — Прим. перев.

³ Бескорыстие (фр.). — Прим. перев.

⁴ Там же, с. 97. — Прим. перев.

⁵ Там же, с. 98. — Прим. перев.

⁶ Там же, с. 98. — Прим. перев.

⁷ Там же, с. 99. — Прим. перев.

Лайель и Гукер берут дело в свои руки и устраивают то судьбоносное заседание Линнеевского общества, на котором были представлены обе работы.

Это событие стало часом официального рождения теории эволюции, получившей название по имени своего создателя, Чарлза Дарвина. Теория находилась на волосок от того, чтобы называться «уоллесизмом»; почему этого не произошло, и почему дарвинизм так знаменит, а уоллесизм между тем почти совсем забыт, мы обсудим позднее, в главе 18. Здесь же будут изложены только основные положения теории эволюции. По Дарвину, природа пребывает в развитии, причем более сложные живые организмы являются продуктом развития организмов менее сложных. Фундаментальное значение для этого процесса имеет взаимодействие между генотипом, т. е. наследственными признаками, с одной стороны, и фенотипом, т. е. признаками и свойствами, приобретаемыми самими растениями и животными в процессе индивидуального развития, — с другой. Дарвин предполагал, что наследственные признаки могут спонтанно изменяться — мутировать. Сегодня возможность такого рода мутаций в генах, несущих в себе наследственную информацию, доказана. Эти мутации представляют собой изменения на микроскопическом уровне.

Вследствие изменившихся наследственных признаков происходят изменения присущих животным и растениям свойств. Например, потомство белых бабочек может иметь черные крылья, могут также быть видоизменены конечности. Жизнь животных под влиянием этих изменений также может изменяться в большей или меньшей степени. Так, например, птицы с изменившейся формой клюва могут питаться насекомыми, которых прежде были неспособны добывать. Природа постоянно поражает нас изобилием самых разнообразных форм, среди которых часто встречаются такие, чья функциональность и целесообразность становится очевидна с первого взгляда. Такая целесообразность рассматривалась в прежние времена как целенаправленность божественного промысла: бог намеренно создал животных именно такими, чтобы им легче было добывать себе пищу. Согласно же Дарвину, эти формы суть результат мутаций с одной стороны, и отбора, называемого также селекцией, — с другой. Разные виды животных, сумевших хорошо адаптироваться к окружающей среде, вступают в межвидовую конкурентную борьбу за пропитание. Можно назвать и другие потребности, ведущие к возникновению такой борьбы: для птиц это и поиск мест гнездования, и поиск укрытий. Так начинается конкурентная борьба между различны-

ми видами, приводящая к выживанию лучших из них. Таковы вкратце основные положения дарвинизма, и теперь мы можем двигаться дальше.

Правда, перед нами сразу же встает ряд проблем, связанных прежде всего с биологией и натурфилософией. Во-первых, тезис «выживает сильнейший» напоминает о кошке, пытающейся ухватить саму себя за хвост, так как согласно этому же тезису понятие «сильнейший» определяется следующим образом: сильнейший — это тот, кто выживает. Этот гордиев узел можно разрубить, используя аналогичный пример из мира неживой природы, ведь дарвинизм применим не только к живой, но и к неживой материи. Мы уже сталкивались с этим на примере лазера, когда установили, что между световыми волнами существует конкуренция, в результате которой «выживает» только одна волна. Волну эту можно рассматривать как «сильнейшую». Однако важно здесь то, что в физике лазера мы имеем возможность с самого начала вычислить, какая именно мода или какая именно волна выживет, а значит, окажется «сильнейшей». Таким образом, в этом случае в нашем распоряжении имеются объективные критерии, благодаря которым мы еще до начала процесса можем сказать, кто станет победителем. Правда, здесь существуют и некоторые ограничения: обычно на роль «сильнейших» находится одновременно несколько волн-кандидатов.

Симметрия между этими волнами может быть нарушена только в результате случайной флуктуации, предсказание которой выходит за пределы наших возможностей, т. е. окончательный выбор одного из нескольких кандидатов происходит по воле случая. Однако наряду с этими сильнейшими модами существует еще множество других, о дальнейшей судьбе которых мы можем судить со всей определенностью: они не выживают.

Благодаря исследованиям в области динамики лазера, мы располагаем моделью, с помощью которой можно осуществить дополнительное физическое и математическое моделирование положений дарвинизма, очень быстро получающих в ходе экспериментов исчерпывающее подтверждение.

Электромагнитные колебания в лазере возникают и существуют за счет возбуждения атомов; этот процесс вполне можно перенести и на мир живой природы. Допустим, что существует несколько различных видов, питающихся одинаковой пищей; действительно, в результате конкурентной борьбы выживет только самый «толковый» — например тот, кто добывает пищу быстрее остальных.

Конкуренция между биомолекулами

Аналогия между процессами отбора в живой и неживой природе не ограничивается описанными выше колебаниями в лазере. Еще один мостик между «живым» и «неживым» обнаруживается в очень схожей по смыслу теории эволюции Эйгена. Основан этот мостик на том, что наследственные признаки определенных «биологических» молекул (о которых мы непременно поговорим подробнее чуть позже, в главе 9) в прямом смысле слова наследуются. Для нас в данном случае важно, что эти молекулы могут размножаться путем автокатализа (подобно модам в лазере!), а затем вступать в конкурентную борьбу. Впрочем, в начальной редакции теории Эйгена уравнения, описывающие размножение биомолекул, имели точно такую же форму, что и описывающие «размножение» волн в лазере. Совпадение такого рода в двух совершенно разных областях у авторов, получивших свои уравнения независимо друг от друга, едва ли можно счесть случайным; оно, скорее, указывает на существование универсальных принципов, которые мы действительно постоянно встречаем в этой книге.

Особенно привлекательно в этой теории эволюции, конечно, то, что она устанавливает связь между неживой и живой природой и в определенном смысле выявляет устойчивый переход от «неживого» к «живому», наблюдаемый в процессах мутации и селекции. Несомненно, именно в области биохимии предстоит еще большая исследовательская работа в этом направлении, однако многообещающее начало уже положено.

Ради полноты картины сделаем еще несколько замечаний. В семидесятые годы Манфред Эйген и Петер Шустер уточнили представление об автокаталитическом размножении биомолекул.

В простейшем случае мы имеем дело с молекулами двух типов — скажем, типа А и типа Б. Молекулы каждого из этих типов размножаются путем автокатализа. Однако при этом молекулы типа А выступают в роли катализатора при размножении молекул типа Б, а молекулы типа Б точно так же участвуют в роли катализатора в реакции размножения молекул типа А. Схематически этот случай показан на рис. 7.1 слева. Схему можно расширить, увеличив количество различных типов молекул, участвующих в процессе. Справа на рис. 7.1 показан случай с тремя типами молекул: А, Б и В. Все три типа размножаются автокаталитически, но при этом молекулы типа А в роли катализатора помогают молекулам типа Б, молекулы типа Б в роли катализатора помогают молекулам типа В, ну а молекулы типа В, в свою очередь, являются катализатором в процессе размножения молекул

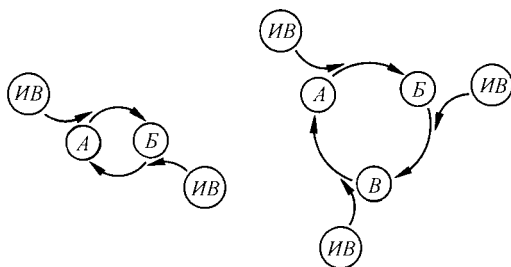


Рис. 7.1. Гиперциклы Эйгена. *Слева*: Молекулы типа А размножаются посредством автокатализа, однако при этом им необходимо содействие молекул типа Б в роли катализатора. Соответственно, молекулы типа Б размножаются посредством автокатализа при содействии молекул типа А в роли катализатора. Буквами ИВ обозначены молекулы исходных веществ, поставляющих молекулы каждого типа. *Справа*: Гиперцикл с участием молекул трех различных типов. Молекулы каждого типа размножаются автокаталитически, однако при этом им необходимо содействие молекул других типов, что и отображено на данной схеме. Круг участвующих в процессе молекул может быть значительно шире

типа А. Изображенные на рисунке круги были названы Эйгеном и Шустером «гиперциклами». Гиперциклы могут подвергаться мутациям, а также вступать в конкурентную борьбу между собой.

Итак, неважно, имеем мы дело с лазерными модами, или с биомолекулами и гиперциклами, или с животным и растительным миром — мы вновь и вновь сталкиваемся с проявлениями принципов дарвинизма.

То, что принципы дарвинизма в равной степени относятся и к миру живой, и к миру неживой материи, указывает на чрезвычайную важность этих принципов. Они имеют непосредственное значение и для социологии, занимающейся проблемами, связанными с конкурентной борьбой в разных сферах человеческой деятельности. Такая точка зрения подразумевает, что, допустим, разные фирмы, производящие одинаковый товар, но по разной цене, на основе конкурентной борьбы за рынок будут подвергаться отбору до тех пор, пока не останется только одна из них — она и завладеет рынком. Является ли такой ход вещей, ведущий в конце концов к возникновению одного огромного концерна, естественным? Действительно ли в такой жесткой конкурентной борьбе выживает самый лучший? Природа дает нам ответы и на эти вопросы — именно им и посвящена следующая глава.

ГЛАВА 8

КАК ВЫЖИТЬ, НЕ БУДУЧИ СИЛЬНЕЙШИМ? – СОЗДАЙ СОБСТВЕННУЮ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ НИШУ

При ближайшем рассмотрении тезис «выживает сильнейший» скрывает в себе целый ряд очень глубоких проблем. Принимая этот тезис на веру, остается только удивляться огромному разнообразию существующих на свете видов. Должно быть, все они оказались в свое время лучшими? По-видимому, придется заняться вопросом выживания более основательно.

В действительности, решив проверить трюк с «выживанием сильнейших», Природа прибегла к множеству уловок. Во-первых, конкурентная борьба возможна лишь в том случае, когда различные конкурирующие между собой виды существуют в одном и том же окружении. Естественно, не может идти и речи ни о какой конкурентной борьбе между сухопутными животными, проживающими на разных материках и разделенными океаном. Так, скажем, в Австралии развился совершенно иной животный мир, чем на других континентах, — например, уникальные сумчатые, одним из представителей которых является кенгуру.

Но даже и в том случае, когда разные виды живут вблизи друг от друга, им часто удается создать свое собственное жизненное пространство. Вспомним, к примеру, о птицах, которые благодаря разнообразию форм клюва освоили различные источники питания (рис. 8.1). Обустроив, таким образом, для себя собственную «экологическую нишу», птицы избежали жесткой конкурентной борьбы между видами. В этом отношении, естественно, можно сказать, что каждый из этих видов стал лучшим — в своей нише, ведь каждый обладает своими специфическими способностями, единственными и неповторимыми. Экологическая ниша — это в некотором смысле

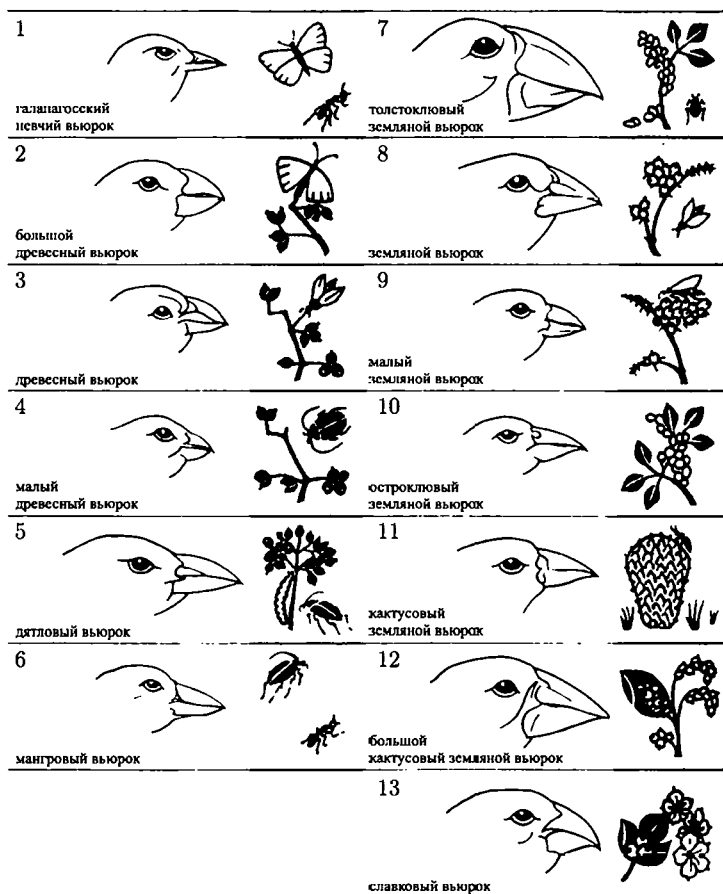


Рис. 8.1. Различные формы птичьих клювов (на примере разных пород выюрок), свидетельствующее о высокой степени специализации. Рядом схематически показано, чем питается каждый вид. На островах, отрезанных от внешнего мира, возникли породы выюрок с особенными формами клюва. Перелеты — но не виды: эти птицы по-прежнему остаются выюрами! Первым их описал еще Дарвин.

1. Насекомоядные выюрки; 2–6. Выюрки, предпочитающие питаться насекомыми, но способные добывать и растительную пищу; 7–12. Выюрки, питающиеся преимущественно растительной пищей; 13. Растительноядные выюрки. (По Конраду Лоренцу.)

резервация, заповедник, безопасная зона, где определенный вид может беспрепятственно жить и развиваться. Наш пример, касающийся источников питания, показывает, что экологические ниши — это ни в коем случае не просто пространственное разделение, хотя оно, безусловно, ограничивает экологическую нишу вернее всего.

Впрочем, сосуществование, обеспечиваемое узкой специализацией, никоим образом не ограничивается рамками живой природы. Нечто подобное имеет место и в лазере: различные световые волны могут появляться одновременно и не вступать в борьбу между собой, если они получают свою энергию от разных атомов. Вопросы конкурентной борьбы играют решающую роль и в экономической жизни; к этому мы еще вернемся несколько позднее.

Интересно, что в природе существуют примеры выживания не только благодаря специализации, но также и благодаря генерализации, которая заключается в том, что некий вид принимает по возможности наиболее обширную «программу питания»; именно так поступили, к примеру, дикие кабаны.

Но наиболее интересный способ выжить в жесткой конкурентной борьбе — это, пожалуй, симбиоз. Симбиотические отношения подразумевают взаимную поддержку друг друга представителями совершенно различных видов; а порой симбиоз становится не просто подспорьем для выживания, но основой самого существования входящих в симбиотические отношения видов. Природа представляет нам целую палитру ярких примеров симбиоза: здесь и пчелы, питающиеся цветочным нектаром и при этом одновременно заботящиеся об опылении — а значит и о размножении — своих кормилицев; и птицы, залетающие в разинутые пасти крокодилов в поисках пропитания для себя — но и в то же время помогая крокодилу содержать зубы в чистоте и порядке; и муравьи, использующие тлей в качестве «молочных коров». Дерево кальвария находится под угрозой вымирания (во всяком случае так считалось до последнего времени) из-за того, что только дронты — вид птиц, исчезнувший в нынешнем столетии, а до тех пор живший на этих деревьях — в силу особенностей своего пищеварения были способны распространять их семена таким образом, чтобы они могли затем взойти. (Согласно последним сообщениям, биологи обнаружили, что заботу о выживании этого дерева могут взять на себя индюки, сумевшие «помочь» взойти семенам кальварии, которым было более ста лет.)

Однако рассмотрение частных случаев не должно помешать нам увидеть всю картину в целом. Не следует думать, что только два или три вида

находятся в состоянии конкурентной борьбы или живут в симбиозе; как раз наоборот: все процессы, протекающие в природе, бесконечно тесно связаны между собой. Природа в этом смысле представляет собой синергетическую систему высочайшей сложности.

Фундаментальное значение имеет также вопрос о том, возможно ли привести отдельные взаимосвязанные природные процессы в равновесие. Много и охотно говорится об экологическом равновесии, все сильнее нарушаемом вмешательством человека в дела Природы. Современные исследования, однако, убеждают в том, что и без человеческого вмешательства экологическое или биологическое равновесие не настолько совершенно, как нам представлялось долгие годы. Причем думали мы, в общем-то, о статистическом равновесии, при котором размер популяции какого-то определенного вида, скажем, птиц, с течением времени практически не изменяется.

Однако в природе все обстоит иначе. Всем нам хорошо известно, что угрожающие равновесию изменения могут быть вызваны самыми заурядными природными катаклизмами: скажем, слишком суровой зимой, или жарким, засушливым летом, или заморозками, из-за которых погибают, например, цветы, и пчелы остаются без пищи. Некоторые ученые объясняют вымирание динозавров падением на Землю гигантского метеорита, т. е. событием, которое трагическим образом сказалось на климатических — а значит, и на жизненных — условиях этих животных. Еще один пример того, как может нарушиться равновесие в природе, — это беспрестанно повторяющиеся опустошительные нашествия грызунов или насекомых, оказывающие влияние и на другие сферы жизни. Рассмотрим это подробнее.

Даже после природных катастроф, подобных описанным, мы воспринимаем восстановление прежнего равновесия как нечто само собой разумеющееся. В дальнейшем мы увидим, что и тезис о свободном развитии рыночной экономики основан на аналогичном представлении.

Однако действительно ли Природа настолько стабильна? Существует множество примеров, доказывающих, что в природе отнюдь не царит статическое равновесие. К началу XX века рыбаками, промышлявшими на Адриатике, было установлено, что их уловы колеблются в определенном ритме. Очень скоро они обнаружили, что этот ритм основан на ритмических же колебаниях популяции рыб (рис. 8.2). В двадцатые годы объяснение этого явления удалось независимо друг от друга дать двум выдающимся математикам — А. Лотке и В. Вольтерра (1860–1940). Оказалось, что оно возникает вследствие существования двух видов рыб, один из которых — хищники,

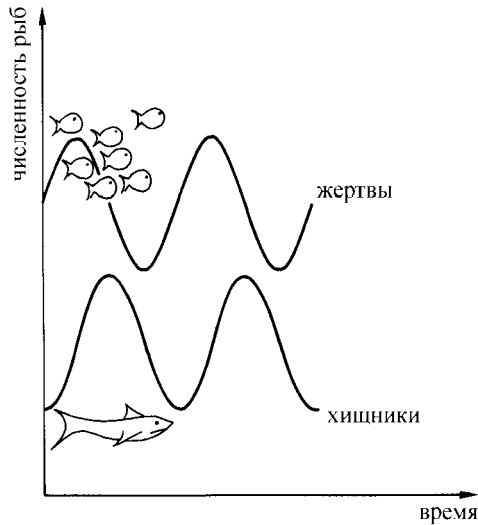


Рис. 8.2. Периодические колебания численности рыб

а второй — их добыча. Механизм же колебаний популяций таков: сначала хищников относительно немного, и в этот период их «жертвы» могут беспрепятственно размножаться, давая тем самым своим природным врагам возможность лучше питаться, а значит, и быстрее размножаться, пока наконец численность хищников не увеличивается настолько, что их питание катастрофически сокращает размер второй популяции (рыб-жертв), что, в свою очередь, отрицательно сказывается на питании хищников и сокращает уже их численность. Затем все начинается сначала.

В рамках математической модели возможен следующий вариант развития событий: однажды хищники случайно съедят всех представителей второй популяции и тем самым обрекут себя на вымирание. Природа препятствует такому исходу, подготавливая заранее укромные убежища, где рыба-жертва может скрыться от преследований распоясавшихся хищников.

Похожий цикл был обнаружен и в Канаде: хищниками здесь выступают рыси, а жертвами — зайцы (рис. 8.3). Поскольку рождаемость и смертность подвержены и разным другим влияниям, описанные нами модельные представления уязвимы для критики, и все же они убедительно показывают, что статическое равновесие природе глубоко чуждо.

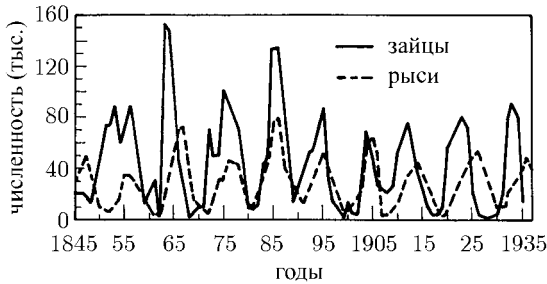


Рис. 8.3. Периодические колебания численности популяций зайцев и рысей

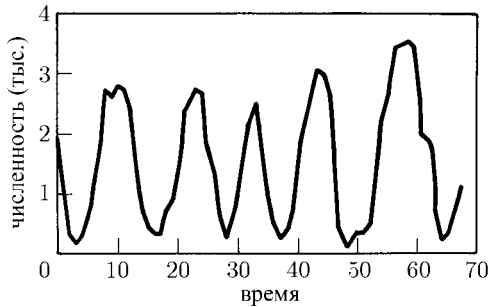


Рис. 8.4. Временные колебания численности популяций насекомых

Еще более выразительные примеры подобного поведения можно обнаружить при исследовании популяций некоторых насекомых, чья численность колеблется совершенно хаотично (рис. 8.4). В дальнейшем мы обсудим доступные на сегодняшний день математические модели, позволяющие ученым строго обрабатывать даже абсолютно нерегулярные процессы (см. главы 12 и 13).

Приведенные примеры показывают, насколько наивна идея статического равновесия в биологических системах. С другой стороны, никогда не следует забывать о том, что реальное природное равновесие в высшей степени чувствительно, и это его свойство вновь возвращает нас к основному принципу синергетики.

В предыдущих главах мы на ряде примеров из физики и химии показали, что в определенных критических точках даже минимальные изменения

внешних условий могут вызвать серьезные изменения на макроскопическом уровне. В ходе рассмотрения приведенных примеров мы постоянно сталкивались с такого рода изменениями внешних условий, вследствие чего системы достигали более высокого уровня упорядоченности. Естественно, все эти процессы можно рассматривать и с другой стороны, в другом направлении, т. е. имея в виду то, что минимальные изменения внешних условий могут, помимо прочего, и полностью разрушить существующий в системе порядок.

Многие из процессов, протекающих внутри популяций в животном мире, могут быть описаны с привлечением математики, так что мы имеем возможность использовать для решения подобных проблем математические методы синергетики. На математическом уровне вновь обнаруживаются далеко идущие аналогии между происходящим в живой и неживой природе. Результаты можно изложить в нескольких словах. Небольшие изменения внешних условий и в живой природе могут приводить к возникновению состояния упорядоченности, полностью отличного от предыдущего состояния системы, т. е. к новому распределению различных видов. Это становится очевидным, стоит лишь рассмотреть, к примеру, распределение всевозможных растений в горах. Здесь часто имеется очень строгое разделение по высоте, определяющее границы различных растительных поясов, или зон, схожих с хорошо всем известными климатическими зонами Земли. На этом примере отчетливо видно, что в конкурентной борьбе победителями могут оказаться совершенно не похожие друг на друга растения, и оказаться практически внезапно, если, к примеру, совсем незначительно изменить среднегодовую температуру в регионе. Того же следует ожидать и при изменении условий окружающей среды в результате вмешательства человека. Скажем, если мы спустим в реку сточные воды и повысим тем самым уровень загрязнения воды, скажем, на десять процентов, то с нашей стороны будет, по меньшей мере, наивно ожидать, что и численность обитающих в такой воде рыб сократится на те же десять процентов. В действительности же при приближении к критическим значениям достаточно минимального повышения уровня загрязненности, чтобы это изменение привело к полному вымиранию той или иной популяции или, другими словами, к разрушению равновесия, существовавшего в водной системе до этого. Здесь основной принцип синергетики, уже в который раз упоминаемый на этих страницах, проявляется особенно ярко: в определенных точках неустойчивого равновесия даже малейшие изменения внешних условий могут иметь для системы самые трагические последствия.

В последние годы стало ясно, насколько актуальными оказались наблюдения, сделанные мной еще в первом издании этой книги. В этой связи следует еще упомянуть об озоновой дыре и климатической катастрофе. В первом случае относительно небольшие количества определенных газов (хлорфторуглеродороды, CFC) приводят к разрастанию озоновой дыры, вследствие чего уже сейчас в южном полушарии — приблизительно в районе Австралии — уровень проникающего сквозь атмосферу излучения становится угрожающе высок. Когда говорят о климатической катастрофе, имеется в виду прежде всего распространившийся на всю планету эффект глобального потепления, вызванный, в частности, выбросами в атмосферу больших количеств углекислого газа. Однако, на мой взгляд, остается открытым вопрос о том, достиг ли уже климат благодаря произведенному человечеством воздействию («антропогенный эффект») критической — именно в синергетическом смысле этого слова — точки или же биосфера еще в состоянии поддерживать существующие контрольные механизмы для стабилизации климата. Земле, в конце концов, довольно долго (сотни миллионов лет) удавалось сохранять благоприятные для жизни условия в очень узких рамках. Сказанное мною ни в коем случае не означает, что мы можем легкомысленно относиться к загазованности атмосферы и т.п., однако следует остерегаться поспешных и сеющих панику выводов.

В заключение вернемся еще раз к самой Природе. В природе также происходят изменения: например, вследствие изменения климата изменяются условия окружающей среды. С особой явственностью из всего вышесказанного вытекает, что даже незначительные климатические изменения оказываются способны запустить принципиально новые селективные процессы, призванные «форсировать» темпы развития.

Однако такое «ускорение развития» вовсе не означает, что вновь возникшие при этом виды должны оказаться объективно лучше вытесненных прежних видов — они всего лишь будут лучше приспособлены к новым условиям жизни. К тому же не исключено возникновение таких изменений, которые можно будет рассматривать как обратное развитие: например, высокоорганизованные организмы могут быть вытеснены более простыми. Это может происходить уже на уровне биомолекул, которые под влиянием новых условий жизни отбросят ту часть наследственной информации, без которой они не просто сумеют теперь обойтись, но еще и получают возможность быстрее размножаться. Подобные эксперименты проводились Солом Шпигельманом: речь идет о молекулах РНК определенных фагов.

Хотя в живой природе мы имеем дело с явлениями и сущностями, ничуть не похожими на те, что мы обсуждали в ходе рассмотрения химических реакций или процессов, протекающих в лазере или в жидкости, все же и там, и здесь действуют одни и те же фундаментальные принципы. В роли параметра порядка теперь выступают те или иные биологические виды, но и такие параметры порядка оказываются способны конкурировать друг с другом, кооперироваться между собой или просто сосуществовать.

Небольшие изменения внешних условий могут привести к возникновению совершенно нового параметра порядка или целой системы таких параметров. Необходимым при этом является соблюдение одного-единственного условия: каждый новый параметр порядка — а в нашем случае это новый биологический вид — должен сначала каким-то образом возникнуть. В лазере это было спонтанное возникновение световой волны, в жидкости — небольшое изменение температуры, в химических реакциях — начальная реакция или спонтанное возникновение молекулы нового типа. Перед нами снова проявление взаимодействия необходимости и случайности. Вследствие внешних изменений создаются условия, в которых возникает новое состояние упорядоченности, предписанное соответствующим параметром порядка; но сначала благодаря случайности — в биологии эту роль берет на себя мутация — должен возникнуть новый вид, или же вид, существовавший до сих пор только в ограниченном количестве (например в узкой экологической нише), должен получить возможность к беспрепятственному размножению и стать господствующим.

Во всех предыдущих случаях мы уже видели, что существует своеобразная связь между параметром порядка и элементом системы, индивидуумом; рассмотрим еще один пример такой связи. В ряде случаев параметру порядка можно присвоить некоторое простое математическое значение; в нашем примере это будет численность представителей одного биологического вида. Временные изменения этой величины можно проследить по данным относительно численности видов в какой-то определенной местности или в отдельных случаях воспользоваться результатами предварительных расчетов. За всеми этими цифрами скрывается огромное множество индивидуальных судеб, определяемых параметром порядка — общей численностью популяции — с неумолимой твердостью. Если в распоряжении какой-нибудь слаборазвитой страны в определенный период времени окажется меньше средств для поддержания жизнедеятельности, чем необходимо ее жителям, то их численность сократится — параметр порядка уменьшится; однако кого именно постигнет эта ужасная участь, остается неизвестным. Нечто подоб-

ное происходит и в политической, и в экономической жизни. Относительно параметра порядка возможны предположения общего характера, но нельзя сделать никаких предсказаний, касающихся отдельных индивидуумов — к этому факту мы еще неоднократно вернемся в дальнейшем.

ГЛАВА 9

ФОРМИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ

Передача наследственной информации

В предыдущей главе мы занимались живой природой в целом и динамикой взаимодействия различных живых организмов; теперь же мы обратимся к живому организму как таковому. Живая природа поражает нас многообразием форм, но отдельные биологические виды отличаются постоянством формы, воспроизводя ее снова и снова в неизменном виде. Это значит, что возникновение формы должно быть подчинено строгим правилам. Но каким, собственно, образом вообще возникает форма, и как становится возможным упорядочивание этого возникновения? Простейшим ответом на эти вопросы будет ссылка на наследственность. Ведь нам прекрасно известно, что телесные — и, несомненно, духовные — свойства и качества передаются по наследству, а значит, должен существовать какой-то материальный носитель этих свойств, какое-то химическое вещество. Химики наградили этот носитель сложным именем «дезоксирибонуклеиновая кислота», сокращаемым обычно до ДНК. Молекула ДНК представляет собой две молекулярные цепочки, закрученные одна вокруг другой в спираль, за что и называется иногда двойной спиралью (рис. 9.1). В каждой цепочке, как в нитке бус, состоящей из разноцветных жемчужин, выстроены друг за другом в порядке, кажущемся совершенно произвольным, химические соединения четырех различных типов (рис. 9.2). Полные названия этих четырех соединений большинству из нас мало что скажут; здесь мы назовем их по первым буквам их кратких названий: А (аденин), Ц (цитозин), Г (гуанин) и Т (тимин). (Сами названия нам больше не понадобятся, поэтому запоминать их не обязательно.) Для усиления аналогии с цветными бусами присвоим каждому типу соединений определенный цвет.

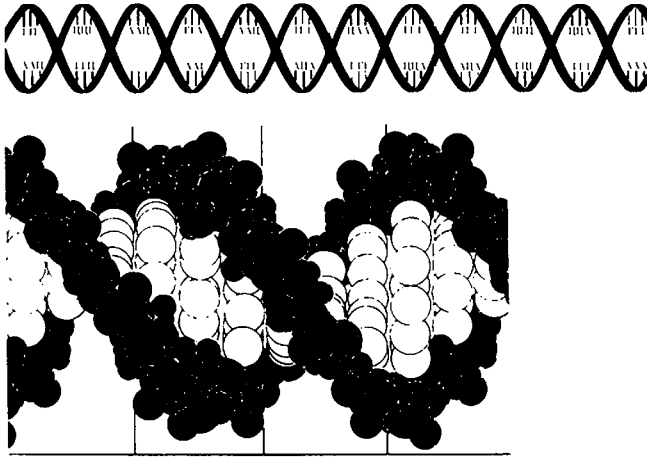


Рис. 9.1. Образующие двойную спираль молекулярные цепочки ДНК. Вверху схематически показан продольный разрез, внизу — объемная модель

Молекула ДНК «воспроизводится» в клетке подобно тому, как на фотографии воспроизводится негатив. При этом посредством определенной химической реакции возникает молекула рибонуклеиновой кислоты (РНК). Каждый отдельный элемент ДНК (А, Ц, Г или Т) переходит при этом в соединение нового типа:

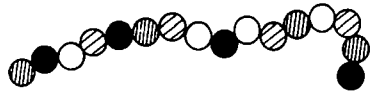


Рис. 9.2. В каждой цепочке элементы молекулы следуют друг за другом, подобно жемчужинам в бусах

ДНК	РНК
А	У (урацил)
Ц	Г
Г	Ц
Т	А

Элементы молекулярной цепочки группируются по три, например: ГАУ, ЦЦУ, ГЦУ, УУУ.

Последовательность элементов в группах представляет собой своего рода код, определяющий порядок выстраивания в молекуле белка отдельных аминокислот (рис. 9.3).



Рис. 9.3. Кодоны, или триплеты молекулы РНК

Наличие в определенной цепочке РНК последовательности, допустим, ГАУ–ЦЦУ–ГЦУ–УУУ является своего рода письменным приказом для клетки, звучащим приблизительно так: «строй белок (протеин), и на первое место поставь аминокислоту аспарагин, на второе — аланин и т. д.» Таким образом, РНК руководит внутриклеточным синтезом, множество интереснейших подробностей которого нам приходится опустить — слишком далеко уведут они нас от главной темы этой книги. Каждый триплет из оснований А, Ц, Г и У представляет собой отдельную единицу информации, некое кодовое слово, или кодон. Молекулы ДНК и РНК содержат (в зависимости от того, о каком биологическом организме идет речь) от нескольких десятков до многих миллионов таких кодонов: ими можно заполнить не только целую страницу (рис. 9.4), но и целую книгу (запись ДНК человека). Напрашивается идея о том, что с помощью ДНК от организма к организму передается некое руководство к действию (или даже что-то вроде строительного плана). Или, используя другую метафору, ДНК — это магнитная лента, которая сохраняет и впоследствии воспроизводит какую-либо мелодию.

При ближайшем рассмотрении подобного представления о наследственности вновь возникают определенные проблемы. Составляя действительный строительный план, невозможно обойтись без огромного количества разнообразных инструкций и предписаний. К примеру, в них должно быть точно указано, где именно в развивающемся организме положено находиться каждой клетке и какими именно характеристиками каждая из этих клеток должна быть наделена. А теперь попытайтесь мысленно представить, какое количество подобных предписаний — или, как выражаются специалисты, какой объем информации — необходимо иметь для того, чтобы «выстроить» живой организм: очень скоро вы доберетесь до числа, соответствующего такому количеству информации, которое не способна в себя вместить никакая молекула ДНК. Возвращаясь к сравнению ДНК с книгой, можно сказать, что для «строительства», например, человека потребовалась бы колоссальная библиотека. Следовательно, Природа должна была разработать методы, позволявшие реализовать «планы» любой сложности, обходясь при этом куда меньшими объемами информации. Должен, очевид-

но, существовать некий закон, согласно которому из имеющейся структуры ДНК развивается соответствующий организм.

Возвращаясь к вышеприведенной аналогии, можно сказать, что если молекула ДНК — это магнитная лента, предназначенная для сохранения и воспроизведения определенных сигналов, то должно наличествовать что-то, что выполняло бы функции собственно магнитофона, преобразующего эти сигналы в мелодию с одним, правда, существенным отличием: все указывает на то, что Природа преобразует сигналы ДНК немислимо хитроумным способом, «диктуя» в некотором смысле только музыкальную тему и предоставляя детальную разработку этой темы «магнитофону», т. е. развивающемуся организму. В этом свете высказанное выше положение о содержании в ДНК совершенно определенной информации начинает выглядеть несколько сомнительным. Содержание ДНК определяется окружающей средой, в которой молекулам ДНК (или РНК) приходится «воспроизводить» свою тему. Возьмем для примера крайний случай: если поместить ДНК или РНК в кучу сахарного песка, то не произойдет ровным счетом ничего. Зато некоторые молекулы этих веществ уже могут «поработить», подчинить себе определенные бактерии, принудив их производить инсулин.

Образование биологических форм

Прежде чем заняться этим вопросом вплотную, обратимся к экспериментам, которые помогут нам разобраться в механизмах образования форм организмов (и отдельных органов). Для таких целей в биологии — так же, как и в других науках — обычно применяется какая-либо «модельная система», отличающаяся относительной простотой и потому удобная для изучения. Наибольшую известность приобрели две таких модельных системы: миксомицеты и гидры.

Миксомицеты (или слизевики) — грибообразные организмы, обитающие в верхних слоях почвы и в обычном состоянии представляющие собой скопление клеток, сходных по форме с амебами. Если питание отдельных клеток оскудевает, то происходит следующее: клетки — словно повинувшись тайному приказу — внезапно скапливаются в одном месте и образуют так называемые ножку и спороноситель (рис. 9.5). Впрочем, миксомицеты и после этого остаются способны к передвижению, которое напоминает движение змей (рис. 9.6). Уже первая фаза — сосредоточение в одном месте — в высшей степени интересна. Откуда отдельным клеткам становится из-

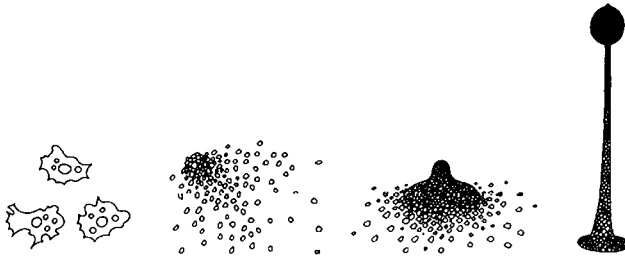


Рис. 9.5. Здесь схематично представлены «стадии» развития миксомицеты от отдельных клеток-амеб до образования гриба



Рис. 9.6. Миксомицеты, или слизевики

вестно место сбора? Каким образом они вообще узнают о том, что должны где-то собраться? Биологи обнаружили, что клетки способны производить особую субстанцию — так называемый циклический аденозинмонофосфат, или ц-АМФ, — и обмениваться ею. Как только клетка получает от одной из соседних клеток порцию ц-АМФ, она усиливает и собственное выделение этого вещества; взаимодействие такого эффекта усиления и диффузии порождает структуру, аналогичную химическим волнам или спиральям (рис. 9.7). Отдельные клетки способны «регистрировать» градиент плотности возникающих в процессе волн ц-АМФ и движутся в направлении,

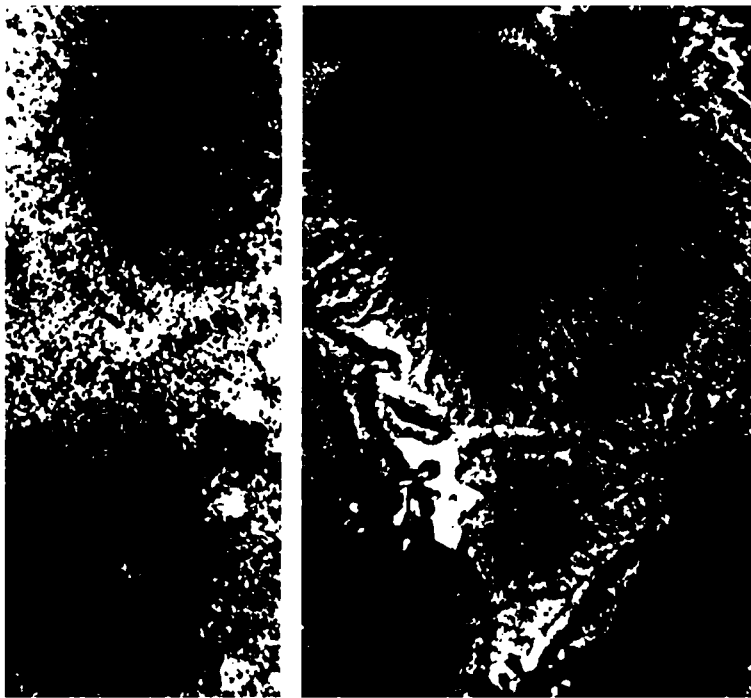


Рис. 9.7. Спиралевидные волны π -АМФ

противоположном направлению распространения этих волн. Для передвижения клетки используют крошечные псевдоподии.

Приведенный пример наглядно показывает, что образование таких структур, как спирали или концентрические круги, может совершенно аналогично протекать как в неживой (в ходе химических реакций), так и в живой природе. Фундаментальная причина этого сходства заключается в том, что в основе подобных процессов лежат всегда одни и те же закономерности изменения параметра порядка, определяющие макроскопическое поведение наблюдаемых структур.

После того как отдельные — причем совершенно одинаковые — клетки соберутся в одном месте, начинается новый процесс, легко поддающийся наблюдению; причины происходящего, однако, еще не до конца ясны. Клет-

ки скапливаются в одном месте, при этом происходит их дифференциация: часть скопления преобразуется в ножку гриба, остальные же становятся его шляпкой. Возможно, ц-АМФ играет решающую роль и в процессе дифференциации клеток; впрочем, соответствующие исследования еще не завершены. Все же приведенный пример дает весьма наглядное представление о том, каким образом отдельные клетки «договариваются» между собой при помощи особого химического вещества. Этот результат пригодится нам в дальнейшем, когда мы займемся непосредственно образованием структур.

Пожалуй, наиболее широко известным примером модельной системы в биологии может служить гидра. Речь идет о пресноводном полипе размером всего в несколько миллиметров; среди нескольких сотен тысяч клеток, из которых состоит гидра, можно выделить чуть больше дюжины типов. У гидры имеется подошва и голова (т. е. противоположный подошве конец, на котором расположено ротовое отверстие). Интересует нас прежде всего следующий вопрос: откуда недифференцированные изначально группы клеток узнают, где должно быть образовано ротовое отверстие, а где — подошва? В духе обсуждавшейся ранее идеи о существующем заранее «строительном плане» можно предположить, что каждая клетка к началу «строительства» оказывается уже проинструктирована насчет того, чем именно ей предстоит стать.

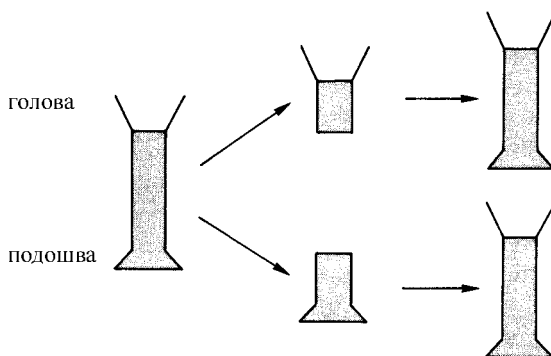


Рис. 9.8. Регенерация гидры. Слева схематично изображено нетронутое тело гидры, в середине — рассеченное на две половины, а справа — уже две новые гидры, и у каждой из них имеется и ротовое отверстие, и подошва

Гидру можно использовать для проведения очень интересного эксперимента (рис. 9.8). Разрезав гидру посередине, мы получим две новые гидры: недостающая часть каждой половины быстро регенерируется. Это означает, что совершенно одинаковые клетки могут развиваться в абсолютно различные органы, т. е. клетки должны каким-то образом получить инструкции, которые определяют их местоположение и укажут назначение. Другими словами, клетки должны суметь сохранить информацию о своем положении. О задействованных в этом механизмах дают представление следующие эксперименты.

Головную часть одной гидры пересаживают в среднюю часть другой гидры. Если пересаженная часть оказывается близко к голове гидры-реципиента, то рост новой головы подавляется, если же удаление это достаточно велико, то из пересаженной части образуется совершенно новая голова. Очевидно, клетки каким-то образом сообщаются между собой в том смысле, что существующая голова оказывается способна позаботиться о том, чтобы рядом с ней не выросла вторая.

Микроскопические структуры на молекулярной основе

На примере миксомицетов мы увидели, что сообщение между отдельными клетками на расстоянии может осуществляться благодаря диффузии химических веществ. Модели же для объяснения процесса дифференцирования клеток были предложены математиками (в частности, Аланом М. Тьюрингом) еще раньше. Чтобы разобраться в этом вопросе, рассмотрим

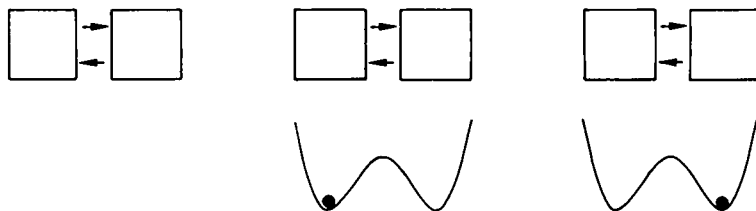


Рис. 9.10. Теперь клетки с рис. 9.9 сообщаются друг с другом, благодаря чему между ними стал возможен обмен веществом. Такой обмен в совокупности с протекающими в каждой клетке процессами приводит к неравномерному распределению концентрации вещества. Даны оба случая нарушения симметрии, соответствующие двум возможным положениям шарика на синергетической кривой

две первоначально отделенные друг от друга клетки, в которых протекают одни и те же химические реакции (рис. 9.9). В результате этих реакций происходит образование молекул типа А, часть которых, впрочем, затем снова расщепляется, так что в конечном счете возникает равновесная концентрация. Естественно, предполагается, что в обеих клетках концентрация молекул типа А одинакова. Теперь допустим, что химические вещества могут передаваться в двух направлениях: и от первой клетки ко второй, и наоборот (рис. 9.10). Такой обмен может привести к тому, что состояние равновесия (равной концентрации химических веществ) между клетками становится неустойчивым. Лучше всего это можно продемонстрировать при помощи так называемой синергетической кривой, т. е. модели шарика, движущегося по холмистому ландшафту. Если шарик из точки неустойчивого равновесия скатывается влево, это означает, что концентрация молекул типа А повышается в левой клетке; в противном случае повышение концентрации происходит в правой клетке. Малейшая начальная флуктуация при производстве молекул типа А в ходе химических реакций определяет, в которой из двух клеток концентрация этого вещества окажется выше. В изолированных клетках концентрация молекул типа А одинаково высока, т. е. в обеих клетках молекулы распределены *симметрично*; в клетках, связанных друг с другом, равномерного распределения не наблюдается, т. е. симметрия нарушается. Такое пространственное нарушение симметрии очень важно в современных теориях формообразования. Многие исследователи продолжили разработку принципиальной идеи Тьюринга, используя при изучении химических процессов специальные модели с большим количеством клеток, обеспечивающие непрерывное протекание исследуемого процесса.

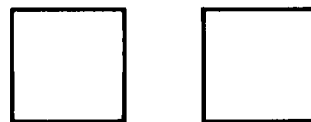


Рис. 9.9. В одинаковых, но не связанных между собой клетках образуется одинаковая концентрация химического вещества

Альфред Гирер и Ганс Мейнхардт разработали очень подробную математическую модель, способную объяснить, например, процесс регенерации у гидры. Речь идет, в частности, о том, каким образом изначально не дифференцированные группы клеток могут затем образовать с одного конца гидры ротовое отверстие, а с другого — подошву. Представим себе по-прежнему недифференцированную группу клеток, в которых производятся два различных химических вещества. Первое вещество активизирует клетки, «побуждая» их к образованию головы, поэтому мы назовем его активато-

релевантно. Второе вещество ингибирует клетки, поэтому мы назовем его ингибитором. Если активатор и ингибитор распространяются по клеткам с одинаковой скоростью, то в конечном счете они достигают равновесия, и концентрация каждого из них одинакова во всех клетках. Однако, если скорость распространения ингибитора больше, чем активатора, то ингибитор будет распространяться быстрее, и в конечном счете он достигнет равновесия с активатором только в одной части системы, а в другой части активатор будет преобладать, что приведет к образованию головы.

ром. Однако нам также известно, что процесс образования головы может быть и подавлен. На основании этого можно постулировать существование вещества, препятствующего образованию головы, дезактивирующего или подавляющего процесс; назовем такое вещество «ингибитором».

Теперь представим себе, что сначала клетки равномерно производят и активатор, и ингибитор, так что оба вещества могут свободно диффундировать внутри группы клеток, а также вступать в реакцию друг с другом. Мы вновь — как в главе, посвященной химическим процессам — приходим к тому, что следует изучать комбинированное действие процессов химических реакций и диффузии. Теперь нас уже не удивляет тот факт, что и в этом случае при возникновении в результате химической реакции определенного критического количества некоторого вещества (например активатора) наблюдается образование некоторой упорядоченной структуры. Это может

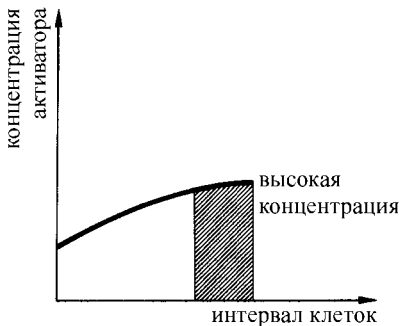


Рис. 9.11. Распределение концентрации биомолекул. Слева — незначительная концентрация; справа — высокая концентрация

Происходит при возникновении даже минимальной разницы в концентрации, как показано на схеме (рис. 9.11). Согласно сегодняшним научным представлениям, высокая концентрация активатора способна «включать» гены отдельных принадлежащих данной группе клеток; гены же, в свою очередь, способствуют такой дифференциации клеток, в результате которой образуется новое ротовое отверстие. Протекающие при этом процессы полностью соответствуют общей схеме, известной в синергетике. Образующаяся в итоге структура представляет собой параметр порядка, который, с одной стороны сам возникает в ходе взаимодействия химических веществ, а с другой стороны — он же и управляет течением каждой отдельной реакции, в результате чего и возникает та или иная специфическая структура.

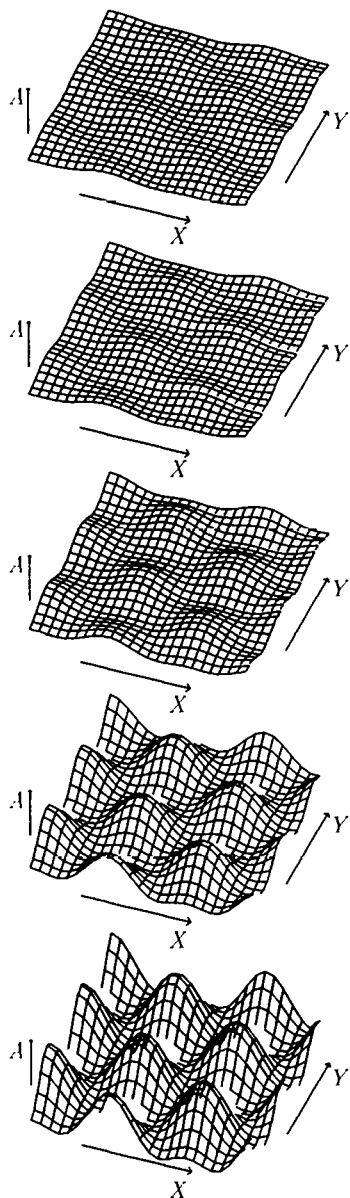
Поведение параметра порядка в этом примере можно проиллюстрировать двумя способами, как и во всех предыдущих случаях. Во-первых, соответствующей пространственной или временной моделью; во-вторых, используя точные расчеты. Как только мы опишем фундаментальные про-

Это может произойти при возникновении даже минимальной разницы в концентрации, как показано на схеме (рис. 9.11). Согласно сегодняшним научным представлениям, высокая концентрация активатора способна «включать» гены отдельных принадлежащих данной группе клеток; гены же, в свою очередь, способствуют такой дифференциации клеток, в результате которой образуется новое ротовое отверстие.

цессы в форме уже упоминавшихся ранее уравнений диффузии, синергетические методы позволят нам получить результирующее распределение концентраций. Как мы вскоре увидим, одинаковые пространственные структуры могут возникать даже в результате совершенно различных процессов (рис. 9.12).

Гипотетическое поначалу существование веществ, названных нами активаторами и ингибиторами, получило тем временем экспериментальное подтверждение. В случае с гидрой были обнаружены активаторы и ингибиторы для ротового отверстия и для подошвы. По всей видимости, подобные вещества широко распространены в природе. Так, например, было доказано их наличие у морских анемонов; более того, активаторы и ингибиторы играют важную роль и в формировании нервной системы млекопитающих. Уже некоторое время назад было обнаружено вещество, влияющее на рост нервных волокон; оно вырабатывается клетками и диффундирует затем сквозь клеточную оболочку, «привлекая» к себе нервные волокна, выходящие из других групп клеток, побуждая их к росту и управляя ими таким образом, что нервные волокна растут в направлении к расположенным снаружи областям тела.

Рис. 9.12. Изменение концентрации активатора в ходе реакции: математическая трехмерная модель, с помощью которой исследовалась взаимосвязь между повышением концентрации активатора и возникновением пространственной структуры



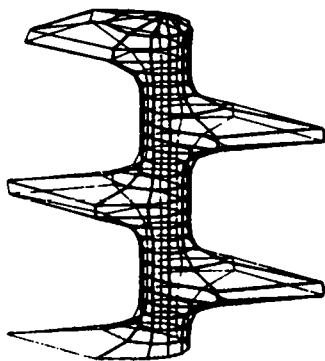


Рис. 9.13. Математическая модель образования почек на стебле

Существование активаторов и ингибиторов с одной стороны, и регуляция образования структур посредством макроскопического параметра порядка — с другой, позволяет (по крайней мере, в принципе) объяснить множество феноменов: это и полосы у зебр, и образование почек на стеблях (рис. 9.13), и многое-многое другое. Несомненно, мы находимся пока лишь в самом начале долгого пути, который когда-нибудь приведет нас к пониманию того, как образуются столь сложные органы, как, например, сердце или глаз.

Вышеприведенные примеры наглядно демонстрируют способность Природы действовать гораздо более изощренными способами, нежели тот, что мы могли себе вообразить, предположив существование «строительного плана», изначально зафиксированного в цепочках молекулы ДНК. Природа даст возможность отдельным частям растущего организма поддерживать между собой сообщение и согласовывать друг с другом свои действия. Предположительно, тот же хитроумный механизм задействован и в процессе образования по меньшей мере части мозга; более подробно мы рассмотрим это предположение в главе 16. Отдельные части организма образуются не по установленному плану — во всяком случае, в этом нет ничего похожего на сборку человеком какого-нибудь электронного прибора. В возникновении, например, нервных трактов между органами чувств и мозгом принимают участие процессы самоорганизации: именно на это указывают эксперименты, в ходе которых нервная связь между глазом и мозгом лягушки сначала прерывалась, а затем вновь восстанавливалась. После сращивания нервных волокон могло обнаружиться, например, что часть мозга воспринимает теперь окружающий мир перевернутым с ног на голову. Однако через некоторое время лягушка снова оказывалась способна к нормальному восприятию, что становилось ясно по ее поведению (например, по тому, как она ловила мух). Функциональные связи изменялись таким образом, что снова могла осуществляться единая «верная» схема передачи информации от глаза к мозгу. Основной вопрос при этом сводится к выяснению того, каким образом зрительные клетки глаза уже во время роста организма оказываются связаны с соответствующими нервными

клетками мозга. При более тщательном анализе экспериментов, о которых уже упоминалось выше, выяснилось, что соединения между глазом и мозгом возникают посредством самоорганизации. Как показывают модельные расчеты, проведенные Кристофом фон дер Мальсбургом, и здесь этот процесс протекает по принципу конкуренции, в соответствии с которым каждый «верно» функционирующий участок усиливается, а те нервные волокна, что передают в мозг «неверное» изображение, подавляются. «Верное» (и «неверное») в данном случае определяется исходя из того обстоятельства, что изображение окружающего мира, воспринимаемое каждой зрительной клеткой, должно передаваться клеткам каких-то конкретных зон головного мозга. Кооперация и сосуществование с одной стороны, и конкурентная борьба — с другой оказываются, таким образом, явлениями, присущими отнюдь не только макроскопическому животному миру; эти же принципы лежат в основе развития отдельных организмов.

ГЛАВА 10

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАТТЕРНЫ ДВИЖЕНИЯ

Если попросить биолога определить понятие «жизнь», его ответ, вероятно, окажется таким: жизнь — это рост, обмен веществ, размножение, мутация. Помимо всего перечисленного, для большинства живых существ характерна еще и почти невыносимая координация между отдельными частями организма, что особенно ярко проявляется у животных и человека. Миллионы — если не миллиарды — различных клеток в высшей степени слаженно и организованно работают вместе, обеспечивая бесперебойную сердечную деятельность, кровообращение, дыхание и движение. То же относится и к осуществлению восприятия всех типов (в частности, человеческой мыслительной и речевой деятельности). Совершенно очевидно, что исследование такого рода взаимодействий естественным образом представляет собой одну из задач, стоящих перед синергетикой.

В самом деле, в последние десятилетия в этой области был достигнут немалый прогресс. При этом полностью оправдалась общая стратегия синергетики, нацеленная на изучение состояний, при которых происходят качественные изменения поведения исследуемой системы. Здесь представляется целесообразным начинать с постановки относительно простых вопросов. К таковым, на мой взгляд, может быть, например, отнесен вопрос о различных лошадиных аллюрах (шаг, рысь и галоп). При смене лошадкой аллюра (представляющего собой, можно так сказать, двигательный стереотип, или паттерн движения) имеет место очевидный скачкообразный переход. Вопрос, с которого мы начнем, заключается в следующем: может ли такая смена аллюра расцениваться как фазовый переход?

Конечно, рассмотрение движения четырех конечностей — дело довольно-таки сложное; однако благодаря счастливому стечению обстоятельств, эта задача оказалась в значительной степени упрощена. В 1984 году мы встретились с американским физиологом Скоттом Келсо, и он сообщил

мне о своем эксперименте, связанном с изучением паттернов движения. Поскольку этот эксперимент и его теоретическое обоснование стали отправной точкой для целого ряда исследований в этом направлении, я опишу его несколько подробнее. Речь идет об эксперименте, который легко сможет провести и сам читатель. Келсо предлагал испытуемым подвигать указательными пальцами обеих рук, следя за тем, чтобы пальцы двигались параллельно друг другу (рис. 10.1), причем ритм движения задавался метрономом. Пока частота, задаваемая метрономом, была невелика, испытуемые хорошо справлялись с заданием, и параллельное положение пальцев при движении сохранялось. Однако как только частота ударов метронома повышалась, и испытуемые должны были увеличить и свою скорость движения, происходило следующее. При достижении определенной — индивидуальной для каждого испытуемого — скорости возникало качественное изменение, причем совершенно произвольное: параллельное положение пальцев сменялось симметричным (рис. 10.2 и 10.3). Совершенно очевидно, что здесь мы имеем дело с качественным макроскопическим изменением — совершенно в синергетическом духе, если можно так выразиться.

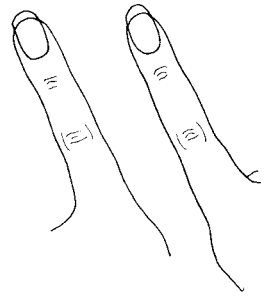


Рис. 10.1. Параллельное движение пальцев в эксперименте С. Келсо

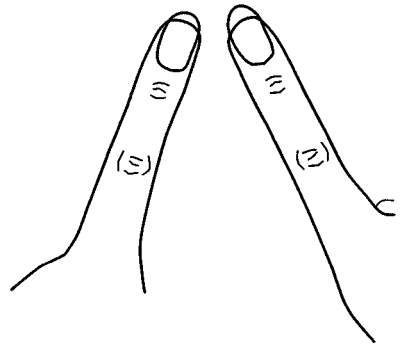


Рис. 10.2. Симметричное движение пальцев

Однако что же в этом примере играет роль контрольного параметра, и что здесь является параметром порядка? Да и возможно ли вообще, имея дело со столь сложной системой, как «человек», по-прежнему использовать эти понятия? Контрольный параметр, впрочем, отыскался быстро: им оказалось не что иное, как частота движения. На роль же параметра порядка, претерпевающего качественное изменение, напрашивается такая характеристика, как относительное положение пальцев. Чтобы перейти к корректному с математической точки зрения изложению, введем понятие так называемой

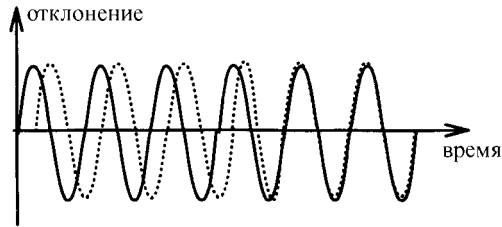


Рис. 10.3. Скорость метронома медленно повышается: отклонения правого (сплошная линия) и левого (пунктир) пальцев в зависимости от времени; совпадение кривых соответствует симметричному движению пальцев

относительной фазы, суть которого поясняется на рис. 10.4. В соответствии с этим понятием, параллельное движение пальцев соответствует фазе $\varphi = 180^\circ$, а симметричное — фазе $\varphi = 0^\circ$. Здесь следует упомянуть о двойном значении слова «фаза», так как из-за этого легко могут возникнуть недоразумения. С одной стороны, мы определяем положение пальцев относительно друг друга как фазу φ ; с другой стороны, мы говорим о фазовом переходе при внезапном, скачкообразном изменении макроскопического состояния системы: например, при переходе от льда (твердое состояние) к воде (жидкое состояние) или при появлении цилиндрических структур в жидкости, нагретой до температуры, превышающей критическое значение. В дальнейшем словосочетание «фазовый переход» мы будем употреблять только в последнем значении; в остальных случаях мы будем говорить об «изменении фазы».

Как уже было показано в четвертой главе, фазовые переходы могут быть наглядно описаны при помощи так называемых холмистых ландшафтов (рис. 4.15–4.18). Такие ландшафты могут выглядеть и совершенно иначе, чем те, что представлены на наших иллюстрациях. Если рассматривать изменение фазы в экспериментах Келсо как фазовый переход, то нам следует сначала подобрать ландшафт, который деформировался бы в соответствии с изменениями фазы. В работе, опубликованной мною в сотрудничестве со Скоттом Келсо и Гербертом Бунцем, я предложил следующий ряд ландшафтов (рис. 10.5). В верхнем ряду слева изображена кривая, на которой имеются две точки устойчивого равновесия, расположенные в правой и левой верхних долинах; они соответствуют параллельному движению пальцев. При повышении скорости движения ландшафт изменяется: верхние доли-

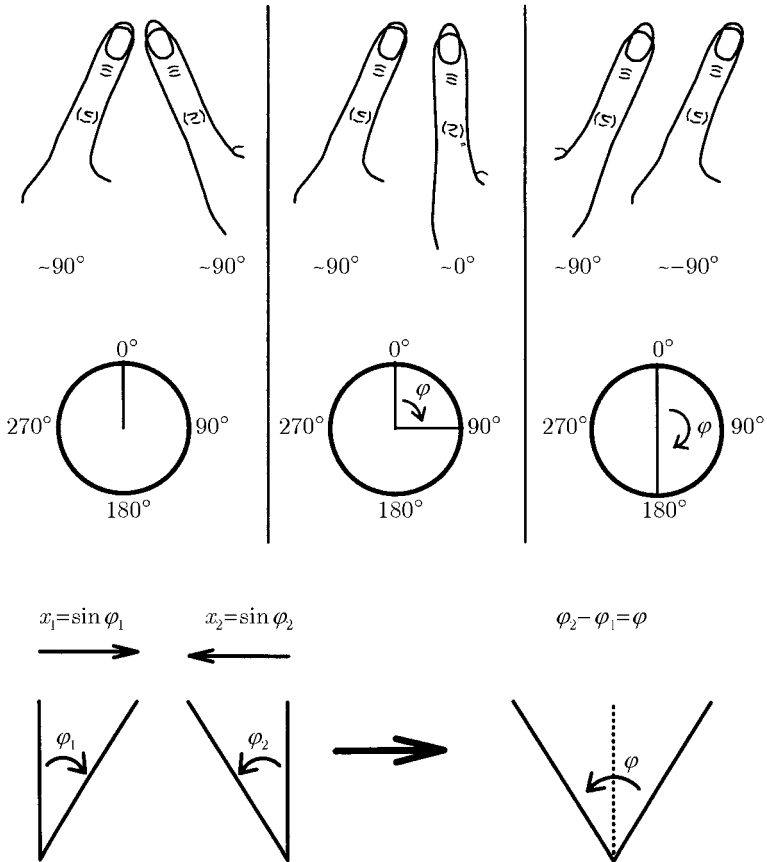


Рис. 10.4. На рисунке показано, как движение пальцев относительно друг друга можно передать через так называемую относительную фазу. Вверху слева направо: относительная фаза равна нулю; относительная фаза равна 90° ; относительная фаза равна 180° . Внизу: зависимость между отклонениями пальцев x_1 , x_2 , фазами φ_1 , φ_2 и относительной фазой

ны, деформируясь, исчезают, и шарик скатывается в нижнюю, центральную долину; другими словами, значение фазы становится равно нулю, что соответствует уже не параллельному, а симметричному движению пальцев.

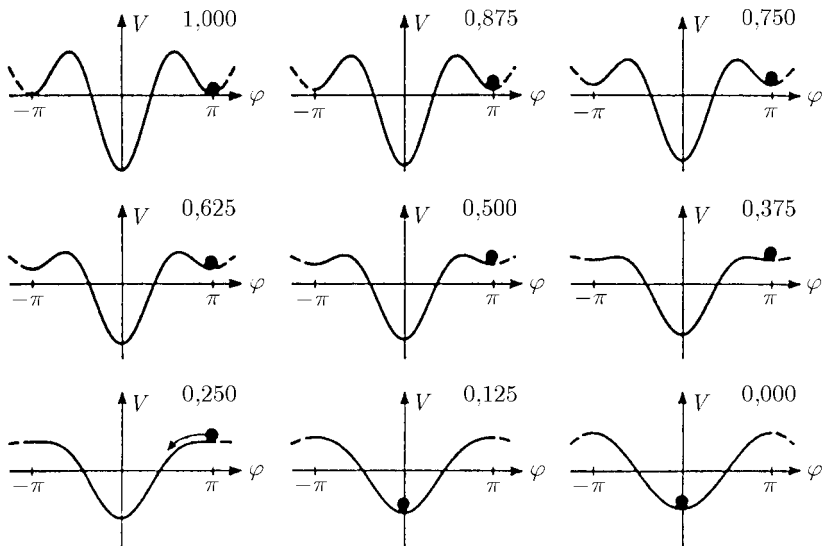


Рис. 10.5. Холмистый ландшафт для относительной фазы. При повышении скорости (частоты) движения пальцев — контрольного параметра — ландшафт деформируется, и верхние долины исчезают; при этом наблюдается обусловленная периодичностью движения взаимосвязь правой и левой верхних долин

Основываясь на данной модели, можно сделать целый ряд интересных выводов. Во-первых, перед нами пример так называемого гистерезиса.

Начнем рассмотрение с прежнего положения шарика в одной из верхних долин, точки устойчивого равновесия; пальцы испытуемых движутся параллельно. При увеличении скорости движения шарик в конце концов скатывается в центральную долину — в точку, в которой значение фазы равно нулю; пальцы движутся симметрично. Допустим, теперь скорость движения начнет снижаться, но пальцы по-прежнему будут двигаться симметрично; как бы ни снижалась скорость, спонтанного изменения положения пальцев не происходит, и причины становятся очевидны, стоит лишь взглянуть на нашу схему: шарик не может вернуться ни в одну из верхних долин, спонтанно «выпрыгнув» из центральной, самой глубокой, а потому — естественно — остается в ней. Другими словами, текущее положение шарика (положение пальцев относительно друг друга при одной и той же

скорости движения) зависит от предшествующих его положений. При абсолютно одной и той же скорости шарик может находиться как в верхней долине (если мы, начав с небольшой скорости, постепенно увеличиваем ее), так и в нижней, центральной (в том случае, если скорость движения пальцев уменьшается). Этот феномен носит название гистерезис. Для испытуемых это означает два совершенно различных типа движения при одном и том же значении контрольного параметра «скорость движения пальцев».

Когда при деформации ландшафта исчезают верхние долины, мы можем наблюдать еще два важных феномена, предсказанных нами при рассмотрении подобных ландшафтов в пятой главе. Речь идет о критических флуктуациях и критическом замедлении. То есть, вблизи критической точки перехода от параллельного движения к симметричному можно ожидать сильных флуктуаций относительной фазы. Уточним: при больших количествах повторений эксперимента вдали от точки перехода постоянно наблюдается одна и та же фаза; вблизи же этой точки эксперимент каждый раз дает разные результаты. На рис. 10.6 даны результаты, полученные Келсо: график дает наглядное представление о том, насколько сильны флуктуации. Для наблюдения критического замедления, Келсо намеренно сбивал частоту движения пальцев и отмечал, сколько времени потребуется испытуемому для восстановления прежнего ритма движения; при этом скорость изменения частоты метронома, задающей ритм движения пальцев, варьировалась. Таким образом, и в экспериментах Келсо были обнаружены феномены, уже известные синергетике из исследований поведения разных других систем (например лазера); впоследствии результаты этих экспериментов были подтверждены рядом других ученых.

После этого было проведено еще несколько экспериментов, направленных на изучение паттернов движения; например, исследовалась корреляция между движением локтя и запястья. В высшей степени интересными оказались эксперименты по исследованию корреляции между движениями двух сидящих рядом людей, которые должны были качать ногой симметрично друг другу: при увеличении скорости ноги испытуемых начинали вдруг двигаться параллельно. Количественные измерения показывают, что переход совершается в полном согласии с уравнениями нашей теории (рис. 10.7).

Почему же, собственно, эти эксперименты представляют такой интерес для биологов? Да потому, что они имеют отношение к очень важному для биологии вопросу: каким образом осуществляется управление движением отдельных конечностей. Может быть, в мозге — как, например, в компьютере — имеется некая двигательная программа, которая в нужный момент

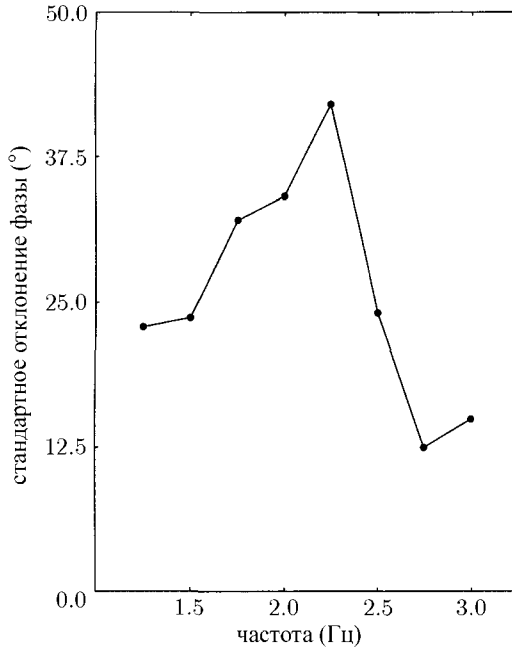


Рис. 10.6. По вертикали отложена амплитуда колебаний относительной фазы, по горизонтали — частота движения пальцев

просто переключается с одного типа управления на другой? Или все же перед нами — читатель об этом уже, наверное, догадывается — феномен самоорганизации? Все три обнаруженных эффекта — гистерезис, критические флуктуации и критическое замедление — совершенно не объяснимы при рассмотрении их в рамках «компьютерной» модели управления движением. Чего ради компьютер в нашей голове (пусть мы даже допустим его существование) будет изменять свою программу в зависимости от предыстории движения? Более того, компьютер, работающий на основе абсолютно детерминистских принципов, просто не в состоянии выдавать переменные результаты при одинаковых исходных данных! Результаты экспериментов значительно лучше согласуются с предположением о том, что здесь имеет место феномен самоорганизации — точно так же, как возникновение когерентного лазерного света является воплощением эффекта самоорганизации

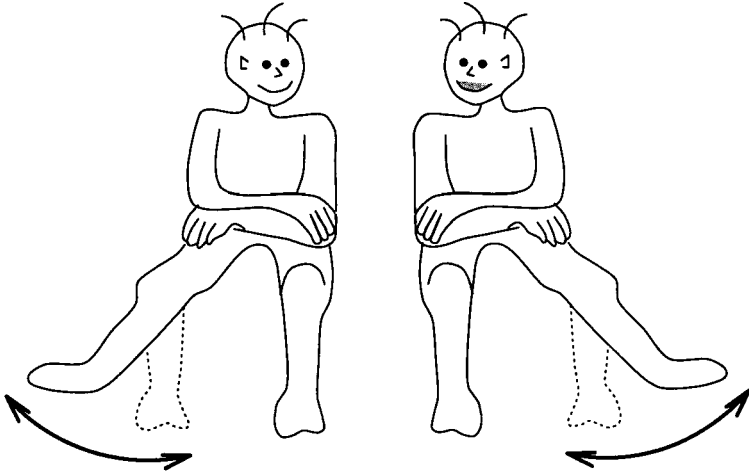


Рис. 10.7. Фазовый переход может произойти и при скоординированном движении ног двух испытуемых

отдельных атомов лазера. В случае же биологического процесса речь может идти о самоорганизации нейронной сети, связанной с мышцами и клеточными тканями. Естественно, это уже совершенно новая точка зрения на происходящее, и именно ее следует выдвинуть на первый план.

Впрочем, и раньше существовали некоторые указания на то, насколько важны для движения конечностей эффекты самоорганизации. Несколько десятилетий назад, например, знаменитый физиолог Эрих фон Хольст провел следующий эксперимент. Он ампутировал многоножке все конечности за исключением шести, после чего животное это начало двигаться подобно насекомому; затем число конечностей было уменьшено до четырех, и многоножка передвигалась на них подобно любому четвероногому, например, лошади. Невозможно представить, что крошечный мозг многоножки способен содержать «двигательные программы» для всех возможных комбинаций конечностей, оставшихся после ампутаций; мы в состоянии объяснить этот феномен, только предположив возможность самоорганизации. Похожие результаты были получены русским физиологом М. Л. Шиком в ходе экспериментов с так называемыми децеребрированными кошками. Несмотря на то, что у этих кошек был удален мозжечок, они оставались в состоянии

бежать по движущейся дорожке. При электрическом раздражении спинного мозга кошка двигалась шагом или переходила на галоп — «аллюр» зависел от силы раздражения. Совершенно очевидно, что постоянное раздражение выступает в данном случае в роли контрольного параметра, который побуждает нервную систему животного к самоорганизации, в результате чего возникает определенный паттерн движения. Похоже, синергетика открывает совершенно новые перспективы для исследования управления двигательными функциями.

ГЛАВА 11

НЕИЗБЕЖНОСТЬ КОНФЛИКТОВ

При рассмотрении примеров из физики нам снова и снова бросается в глаза одно удивительное обстоятельство. Создавая новое упорядоченное состояние, Природа предоставляет системе богатый набор возможностей. Например, ячейки, возникающие в нагреваемой снизу жидкости, имеют возможность вращаться как справа налево, так и слева направо. Мы уже знаем, что такое поведение вполне понятно, если использовать для его объяснения простую механическую модель.

Поместим шарик в чашку особой формы (рис. 11.1); из показанного положения (неустойчивое равновесие) шарик скатится вниз — но какое же из имеющихся в его распоряжении двух совершенно равноправных положений он предпочтет? Существующая в настоящий момент симметрия непременно будет нарушена — шарик в конце концов займет какое-то одно из двух одинаково возможных положений.

Поставив перед собой задачу определить, какое положение все же займет шарик, мы не сможем получить однозначного решения. Совершенно очевидно, что существует два абсолютно равноправных решения, а это противоречит привычному нам представлению о том, что каждая проблема должна иметь некое вполне определенное решение.

В том, что такого рода проблемы распространены и за пределами механики и не ограничиваются простыми процессами, протекающими в природе, мы можем без труда убедиться, предприняв небольшую попытку самоисследования. Наш мозг — это, бесспорно, самое сложное творение Природы. Однако и деятельность мозга являет нам пример нарушения симметрии в процессе восприятия. Это можно испытать на себе, взглянув на рис. 11.2.

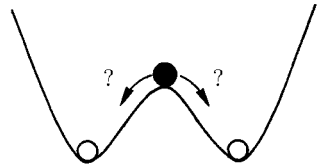


Рис. 11.1. Хорошо известная модель для задачи, имеющей два равноправных решения. Куда же покатится шарик?

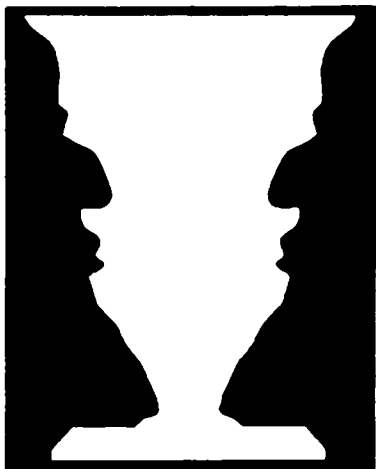


Рис. 11.2. Ваза или два мужских профиля?

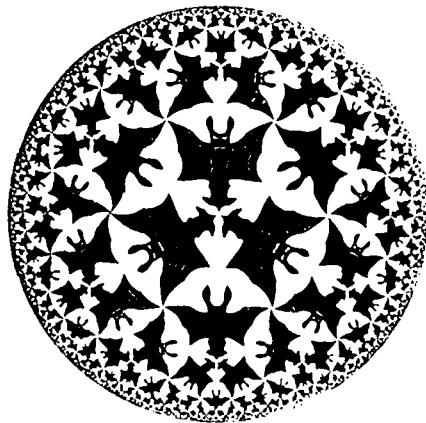


Рис. 11.3. Ангелы или черти?

Поначалу здесь вообще трудно что-либо разобрать. Однако если знать, что следует рассматривать среднюю — белую — часть картинки, то легко становится различима ваза; если эту же, белую среднюю часть представить фоном, то на картинке сразу появляются два черных профиля. Картинка «содержит» в себе два совершенно равноправных в смысле восприятия изображения, и ни «профили», ни «ваза» не имеют никаких преимуществ. Значительная часть картин, прославивших Морица Эшера, построена на нарушении симметрии. Всего лишь один из многих примеров использования художником этого приема представлен на рис. 11.3, глядя на который мы видим попеременно то ангелов, то чертей. Как явствует из приведенных примеров, для того, чтобы при восприятии изображения нарушилась существующая симметрия, необходима дополнительная информация (вроде рекомендации «Рассматривайте белое изображение на черном фоне»). Однако нарушение симметрии возможно и без дополнительной информации: это происходит благодаря протескающим в человеческом мозге процессам, которые по аналогии с уже рассмотренными нами физическими явлениями мы могли бы обозначить как «флуктуации». Воспринимасмос изображение возникает перед нашим мысленным взором мгновенно, и пониманис его содержания подобно озарению.



Рис. 11.4. Душевное состояние наблюдателя проецируется на лишние выражения лица или нейтральные фразы. Картинка из тематического апперцептивного теста, разработанного Генри Мюрреем и его сотрудниками в 1935 году в Институте клинической психологии при Гарвардском университете. Этот проективный тест, подобно тесту Роршаха, может помочь выявить неосознаваемые мысли и внутренние конфликты

Проверьте свое душевное состояние

Кроме того, в силу неких физиологически обусловленных установок, симметрия может быть нарушена сразу, т. е. уже в момент начала восприятия человек может иметь некие неосознанные предпочтения, которые и повлияют на выбор им одного из двух равновероятных толкований изображения, помещенного на картинке. На этом факте основан целый ряд психологических тестов.

Изображение, использованное в одном из таких тестов, представлено на рис. 11.4. Попробуйте оценить эмоции, выражаемые лицами двух женщин: веселы они или печальны? существует ли между этими женщинами какая-то связь? каковы их взаимоотношения? Попытайтесь ответить на эти вопросы, взглянув на рисунок только один раз. На самом же деле художник изобразил женщин таким образом, что лица их не являются ни веселыми, ни печальными — в смысле оценки эмоционального состояния эти изображения нейтральны; однако испытуемые, пытаясь найти ответы на поставленные вопросы, должны нарушить эту симметрию. Нарушение симметрии может оказаться и следствием дополнительной информации, которую привносит в опыт сам испытуемый, пребывающий в этот момент в каком-то определенном душевном состоянии. Проецируя на изображение свои собственные чувства, человек наделяет нейтральные в эмоциональ-

ном плане лица эмоциями, которые испытывает в действительности он сам; исходя из высказываний испытуемого, психолог может сделать некоторые выводы касательно его душевного состояния.

Этот процесс мы можем представить и по-другому: испытуемый «прочтет» на лицах женщин те чувства, к которым внутренне предрасположен он сам. С предвзятостью такого рода сталкивался каждый; ей подвержены все без исключения: люди часто слышат или читают не то, что сказано или написано на самом деле, а то, что ожидают услышать или увидеть. В определенном смысле эта предвзятость даже необходима. Ведь сам процесс восприятия тесно связан с распознаванием; распознавание же, по сути, не что иное, как постоянное сопоставление и увязывание нового с уже имеющимся в нашем распоряжении опытом.

Второй тест я помню еще со своих школьных времен; он касается постановки задачи, которая, собственно, не имеет решения. В школе речь шла о мальчишке, который должен был каллиграфически списать некий текст, уложившись в определенное время. Размер текста не позволял успеть аккуратно и полностью переписать его за оговоренное время: либо испытуемый успевал списать все, но делал это без требуемой тщательности, либо списывал красиво, но не укладывался в отведенное для работы время. Типичная конфликтная ситуация, которой, естественно, хотелось бы избежать. Однако ситуация эта смоделирована именно таким образом, чтобы испытуемый оказался вынужден использовать заложенное в ней нарушение симметрии. Психологи надеялись составить представление о характере испытуемых как раз исходя из выбора последних между стремлением выполнить задание вовремя, пусть и не совсем аккуратно, и стремлением сделать работу тщательно, но не уложившись к заданному сроку. Разумеется, тест этот обращается просто в фарс, если испытуемый заранее знает, к чему клонит психолог, и может устроить из тестирования розыгрыш.

Тесты такого рода широко распространены и столкнуться с ними можно повсюду — например в армии США. Среди физиков уже долгое время ходит анекдот об одном очень знаменитом их коллеге, которого должны были призвать в армию и подвергли подобному психологическому тесту. Суть его состояла в следующем: чтобы определить тип характера будущего солдата, психолог предлагал ему показать свои руки; если тестируемый показывал руки ладонями вверх, психолог заключал, что человек перед ним имеет открытый характер, если же ладони оказывались повернуты вниз, то считалось, что их обладатель — человек скрытный и замкнутый. На просьбу психолога показать ему свои руки наш физик вытянул вперед одну

руку ладонью вверх, а вторую — ладонью вниз. Несколько шокированный этим психолог запаниковал и воскликнул: «Бога ради, переверните руки!»; физик выполнил и эту просьбу: ладони поменялись местами, но одна из них по-прежнему была повернута вверх, а вторая — вниз. По результатам этого теста испытуемый был признан негодным к строевой службе; ну а психолог — не исключено — теперь и сам нуждается в помощи коллег.

Жизнь полна конфликтов

До сих пор мы говорили только об искусственно созданных конфликтных ситуациях, а ведь конфликтами изобилует наша жизнь. Рассмотрим несколько подобных примеров. Допустим, некий молодой человек желал бы получить высшее образование, но колеблется с выбором между двумя совершенно различными специальностями: каждая из них по-своему привлекает его, но в то же время и чем-то не устраивает.

Или другая ситуация: девушка по воле случая поочередно знакомится с двумя очень милыми молодыми людьми, каждый из которых выражает желание жениться на ней. К обоим девушка испытывает симпатию и никак не может решиться отказать одному из них. Так она, что называется, разрывается между ними — до тех пор, пока наконец какая-нибудь одна-единственная фраза одного из молодых людей не приводит ее к принятию решения; после этого девушка внезапно охладевает ко второму претенденту. В понятиях синергетики эта «флуктуация» — единственная фраза — и определяет исход дела, оказывая решающее влияние на окончательный выбор.

Нередки в психической жизни человека и вот какие ситуации. Например, овдовевший мужчина тяжело переносит свое одиночество и стремится избавиться от него, женившись вновь. Стремление это в нем достаточно сильно, чтобы познакомиться с несколькими дамами — допустим, с двумя — склонными вступить с ним в брак. И тут вдовец начинает размышлять: на которой же из них ему следует жениться? Он взвешивает все «за» и «против» в ходе многочисленных обсуждений этой проблемы со своими друзьями и знакомыми. Но именно в процессе выбора он все глубже и глубже увязает в конфликте, убеждаясь в конце концов в том, что он оказывается не в состоянии принять решение. Преимущества и недостатки обеих женщин (а определяются они, естественно, влиянием его собственных склонностей) уравнивают друг друга и не дают сделать выбор. Перед нами типичный пример психологического конфликта, мешающего человеку принять

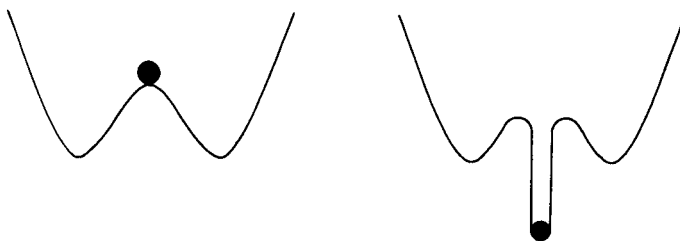


Рис. 11.5. Результат долгих размышлений: шарик «выдавил» себе яму, из которой уже не сможет выбраться

решение; он будет медлить до тех пор, пока дамы не потеряют к нему интерес.

Этот психологический процесс можно весьма наглядно продемонстрировать, используя нашу механическую модель с шариком (рис. 11.5). Допустим на этот раз, что шарик в модели стальной, а материал чаши относительно мягок. Чем дольше шарик «пребывает в нерешительности», тем глубже становится ямка, «вырываемая» им: с течением времени у шарика остается все меньше и меньше возможностей покинуть эту постоянно углубляющуюся ямку и выбраться наружу, освободиться. В случае с вдовцом может, конечно, оказаться и так, что нерешительность происходит от подсознательного нежелания жениться снова, а конфликт есть всего-навсего прикрытие этого нежелания; положение шарика постепенно становится необратимым.

Подобная нерешительность может оказаться смертельной, если человеку грозит какая-то опасность; убедительные примеры тому дает Бруно Беттельхайм в своей книге «Воспитание способности переживать»¹: преследуемые люди никак не могли решить, следует ли им поддаться давлению правящего режима и жить скрываясь или не сдаваться и предпринять отчаянную попытку бегства.

Приведенные примеры типичны: оказавшись в ситуации, имеющей два равноценных (на первый взгляд) выхода, мы погружаемся в размышления, надеясь на некую подсказку свыше, которая — в терминах синергетики — необходима для того, чтобы нарушить существующую симметрию. Обнаруженная синергетикой важная истина заключается в следующем: в ряде случаев помощи свыше ждать бесполезно. Действительно, случается так,

¹В. Bettelheim. *Erziehung zum Überleben* (Stuttgart: DVA, 1980).

что даже после продолжительнейших размышлений мы все же оказываемся не в состоянии решить проблему однозначно и выйти из конфликта. К этому следует добавить, что в жизни мы бываем порой чересчур ограничены во времени, и потому просто не успеваем найти решение. Из всего этого можно сделать только один вывод: прежде всего, следует научиться распознавать проблемы, которые принципиально могут иметь два (или более) равноценных решения. Насколько эти решения равноценны в действительности, мы тоже часто не способны определить. Размышляя и взвешивая различные подходы к проблеме, мы спустя некоторое время должны убедиться в том, что перед нами настоящий конфликт и оба найденных нами решения действительно равноценны. И если все это так, будет абсолютно безразлично, что именно выбрать. Важно еще одно: ни в коем случае не следует раскаиваться в своем решении. Мы постоянно должны помнить о том, что в результате долгих размышлений было выбрано одно из двух совершенно равноценных решений, каждое из которых, естественно, имело свои преимущества — и то, что было отвергнуто, заметьте, тоже.

Перенос конфликтов в социальной сфере

Именно в социальной сфере существуют конфликты, имеющие два равноценных решения — или, вернее говоря, выхода, — однако выводят нас из таких ситуаций *совместные* действия людей. Правда, в результате конфликты оказываются не разрешенными, а лишь перенесенными. Начнем опять-таки с относительно простых примеров, на основании которых можно выстроить аналогии для рассмотрения более сложных и чрезвычайно актуальных вопросов. Скажем, каждый ребенок, родившись, обязательно должен получить фамилию. У многих народов принято (и даже закреплено законодательно) давать ребенку фамилию отца. Однако с тем же успехом это могла бы оказаться фамилия матери. Если процесс получения ребенком фамилии не регламентирован законом, то каждая семейная пара стоит перед выбором: какую из двух фамилий будет носить их ребенок? Нет ни малейшего сомнения в том, что в каждом отдельном случае эта ситуация могла бы стать конфликтом, который в отсутствие регулирующих процесс законов родителям пришлось бы решать самим.

Абсолютно то же самое относится и к фамилиям, принимаемым при заключении брака. Должны ли супруги взять общую фамилию? и которую из двух? Некоторые пары выбирают в таких случаях двойную фамилию —

допустим, Мюллер-Майер. Нетрудно подсчитать, что через десять поколений такая составная фамилия будет содержать в себе уже более тысячи элементов. Бессмыслица, сводящая компромисс к абсурду.

Следовательно, остаются две возможности: взять супругам фамилию мужа *или* жены и дать ребенку фамилию отца *или* матери. Очевидно, что существовавшие до нас общества разрешили эту проблему, разрушив симметрию с помощью норм общественного поведения. Нарушение симметрии может произойти также под воздействием традиции или закона. Закон в таком случае играет роль параметра порядка, которому подчинены супруги, дающие фамилию своему ребенку. С другой стороны, сами законы — по крайней мере, в демократическом обществе — устанавливаются представителями общества, т. е. и параметр порядка подчинен определяющим его действиям индивидуумов. Налицо уже знакомые нам синергетические взаимоотношения между параметром порядка и отдельными элементами системы. Существует и другая возможность, вызываемая отсутствием параметра порядка. Для нашего примера это будет означать, что закон оставляет вопрос о фамилии открытым, что и приводит отдельные семьи к конфликтам. Отсюда неизбежно следует, что большая личная свобода одновременно означает и большую вероятность личностных и межличностных конфликтов.

Следующий пример подобного рода конфликтов предоставляет нам семейное право. Кого из родителей — отца или мать — предпочитает суд в качестве воспитателя детей? Особенно отчетливо эти предпочтения проявляют себя во время бракоразводных процессов, когда судья, как правило, оставляет маленьких детей с матерью. Таким образом, симметрия оказывается нарушена — в принципе, дети могли бы оставаться и с отцом, — но судья должен нарушить присущую ситуации симметрию в силу сложившихся в обществе представлений. Необходимые для разрешения подобных конфликтов законы отсутствуют, и суд оказывается инстанцией, произвольно нарушающей симметрию. Проблематику может расширить еще один пример, касающийся той же области права. Речь идет о том, предпочитают ли партнеры жить совместно в браке или же без оформления брака. При решении этого вопроса вновь происходит сопоставление и взвешивание множества преимуществ и недостатков обоих способов совместного существования двух людей. Среди многообразия противопоставляемых пар «за» и «против» могут быть названы, к примеру, следующие: связанность супругов браком дает им, однако, уверенность в том, что ни один из них не останется без попечения; внебрачная связь дарует партнерам свободу, что одновременно означает отсутствие у этих людей каких-либо обязательств

друг перед другом. Совершенно ясно, что преимуществами обоих положений одновременно воспользоваться невозможно. Когда расходится пара, не состоявшая в браке, могут порой происходить значительные экономические столкновения: например, если партнерами была приобретена общая квартира. Регулирование подобных конфликтов опять-таки находится в ведении государства, т. е. снова налицо попытка перенести конфликт в общественную сферу. Общество, представленное все тем же государством, зачастую вовсе не готово к регулированию подобных конфликтов, так как все предусмотренные им конфликтные ситуации разрешаются исключительно в рамках, ограниченных браком.

Как явствует из приведенных примеров — а количество их можно увеличить в десятки раз, — в государстве происходит постоянный перенос конфликтов из личной сферы в общественную и из общественной в личную. Из подобных взаимоотношений между личностью и обществом вытекает, что решения в возможных конфликтах, касающихся отдельной личности, берет на себя общество или государство. Но верно также и обратное: большая свобода отдельной личности при принятии решений означает и большую вероятность возникновения конфликтных ситуаций.

Обсуждаемые эффекты не следует относить только к браку. Они могут касаться иных групп людей или даже целых городов и при этом не иметь ничего общего с правовым регулированием.

Тем, кому довелось пожить в разных городах, хорошо известно, что существует некий местный климат, создаваемый самими жителями: есть города, в которых люди дружелюбны и общительны, а есть и такие, где, кажется, собрались одни брюзги и невежи. Перед нами — очередное воплощение «общественного», коллективного эффекта, сопровождающего нарушение симметрии, т. е. выбор между личными установками на «дружелюбие» и «недружелюбие». Стоит лишь возникнуть в городе какому-то общему, коллективному настроению, и человек, приехавший в этот город, уже ничего не сможет поделать с этим «климатом» — с течением времени его поведение будет все меньше и меньше отличаться от поведения местных старожилов. Попавший в город ворчунов жизнерадостный весельчак фрустрирует и, вполне вероятно, сам станет ворчуном. Ну а брюзга, прожив некоторое время среди открытых, дружелюбно настроенных людей, скорее всего, будет заражен всеобщим дружелюбием. Тот же эффект — и порой еще более ярко выраженный — можно наблюдать не только в городах, но и в различных заведениях и учреждениях. Здесь тоже существует некий «местный климат», изменить который удастся далеко не каждому новичку.

ГЛАВА 12

ХАОС, СЛУЧАЙНОСТЬ И МЕХАНИСТИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Предопределено — или случайно?

Едва ли найдется философ — об ученых-естествоиспытателях мы даже и не говорим, — который взялся бы поспорить с тем, что знания, добытые физикой и другими естественными науками, являются неотъемлемой частью создаваемой человечеством картины мира. На наш теперешний образ мышления глубокое влияние оказали научные революции, потрясшие самые основы физики. Наша убежденность в том, что все процессы в природе протекают в соответствии со строгими, «железными» законами, возникла и укрепилась только благодаря законам физики, получившим тысячекратное доказательство.

Немалый вклад в это был внесен механикой, расцвет которой пришелся на девятнадцатый век. Механика занимается изучением движения отдельных тел и действующих между этими телами сил. Фундаментальное открытие, сделанное Ньютоном, касалось того, что падение яблока с дерева и движение Земли и других планет по их орбитам вокруг Солнца суть проявление одного и того же закона. Законы, открытые Ньютоном, легли в основу ракетостроения и стали, таким образом, основой для покорения человечеством космического пространства. Прямо на экранах телевизоров мы можем наблюдать, как ракеты устремляются к Луне по точно рассчитанным траекториям. Соблюдение такой траектории, заранее рассчитанной и потому предсказуемой, включает в себе, однако, и нечто для человека гнетущее и даже жуткое. Если некая последовательность различных событий жестко предопределена, мы оказываемся всего лишь лишенной собственной воли частичкой колоссального механизма. Даже случайности здесь не

остается места — ведь предопределено абсолютно все. Далеко идущие философские (а также религиозные) последствия такого видения мира обеспокоили уже не единожды, и представить их себе не сложно. В двадцатые годы благодаря появлению квантовой теории в мировоззрении произошел головокружительный переворот, и возрожденная случайность вернулась в наш мир. Вернемся ненадолго к процессам, протекающим в лампе и лазере: возбуждая отдельный электрон в атоме, мы наделяем его большей энергией, чем он обладает в своем обычном, невозбужденном, состоянии, и электрон, стремясь избавиться от этой дополнительной энергии, излучает ее в виде световой волны. При этом абсолютно невозможно — в рамках квантовой теории — предсказать, в какой именно момент времени электрон испустит световой импульс. Это очень похоже на игру в кости: никогда нельзя предсказать точно, какое именно число будет выброшено.

Судя по всему, что мы сегодня знаем о событиях, происходящих в микромире — невидимом нам мире атомов, — тамошние процессы подвластны исключительно случайности. Все попытки пустить здесь в ход представления, связанные с механистической картиной мира, провалились, так как вступали в явное противоречие с экспериментальными данными. Случайность же — как полная и абсолютная непредсказуемость — резко противоречит представлению о раз и навсегда заданном ходе вещей.

Предопределено — и случайно!

В семидесятых-восемидесятых годах многие ученые были буквально ошеломлены сообщениями о том, что в природе возможны события, обладающие в некотором роде двойственным характером. С одной стороны, эти события (например динамические процессы) подчиняются законам, не менее «железным», чем законы механики, или даже самим законам механики. С другой же стороны, такие события не чужды случайности и непредсказуемости. Для обозначения совершенно новой группы явлений было выбрано слово «хаос».

Слово это хорошо знакомо нам из повседневной жизни. Достаточно вспомнить хотя бы о всем известном хаосе дорожного движения, о безнадежной неразберихе, царящей на магистралях, забитых вереницами машин. Эта картина — воплощение самой сути слова «хаос» в том смысле, в котором оно используется сегодня учеными. Каждая из машин, участвующих в этой сутолоке, оказывается на своем месте в полном соответствии со строги-

ми законами механики, и все же наблюдателю это зрелище представляется совершеннейшей путаницей, хаосом, в котором положение отдельных машин выглядит следствием случайного распределения: огромный грузовик рядом с синим легковым автомобильчиком, наперерез им вылетает красная машина, за ними мотоцикл и т. д.

Возможно, еще более драматический взгляд на хаос и порядок выражен знаменитым художником М. Эшером в картине, которая так и называется — «Хаос и порядок» (см. рис. 2.3). В центр картины помещен кристалл абсолютно правильной формы, а пространство вокруг этого кристалла заполнено каким-то мусором вроде черепков, осколков, пустых консервных банок и прочего в этом роде. Кристалл со всей очевидностью воплощает собой порядок, мусор же вокруг символизирует хаос. В данном случае хаос статичен — в противоположность определяемым нами как хаос явлениям природы, пребывающей в вечном движении. Вообще, слово «хаос» рекомендуется употреблять со всей осмотрительностью: даже в науке хаос хаосу рознь. Во-первых, здесь существует уже давно известный «микроскопический хаос». С этим понятием читатель уже неоднократно сталкивался — например при описании нами света обычной лампы или неупорядоченного движения отдельных молекул газа. Новым может оказаться понятие о «детерминированном хаосе», называемом также коротко просто «хаос», в связи с чем может возникать — и часто возникает — множество недоразумений.

Детерминированный хаос, который поначалу рассматривался всего лишь как случайно проявляющаяся странность, сегодня предстает перед нами как стереотип поведения многих систем, исследуемых синергетикой. Вспомним несколько уже упоминавшихся примеров.

При движении нагреваемой снизу жидкости — в зависимости от температуры горизонтального слоя — возникают совершенно различные конфигурации. По прошествии нескольких этапов, на которых образуются упорядоченные структуры, в жидкости начинается совершенно беспорядочное движение: она, как говорят специалисты, становится турбулентной. Сегодня мы с полным правом можем предположить, что вихри, возникающие при этом в жидкости, подчиняются законам хаотической динамики.

Аналогичную картину можно наблюдать, следя за кольцами табачного дыма. В воздухе они деформируются, и в конце концов наступает момент, когда дым движется уже совершенно хаотично — движение становится турбулентным. При определенных химических реакциях возникают пространственные или временные макроскопические структуры — например периодические переходы от синего цвета к красному и т. д.

Химики и раньше имели возможность наблюдать подобные переходы от красного к синему, происходящие через весьма неравные промежутки времени; наблюдаемую нерегулярность переходов было принято относить на счет недостаточно тщательно подготовленных реагентов, и это объяснение скрыло за собой вполне очевидную истину. Теперь, после того как феномен, обозначаемый как «хаос», стал общепризнан, химики состязаются в получении и опубликовании новых результатов исследования временных и пространственных структур, возникающих в ходе такого рода реакций. Кроме того, появляются предсказания относительно возможной турбулентности лазерного света. Волновые цуги, испускаемые лазером, абсолютно хаотичны, но характер этой хаотичности оказывается совершенно иным, нежели в свете обычной лампы: своего первооткрывателя ждет новый тип света.¹

Идея хаоса не обошла стороной и биологию и сделала понятными прежде необъяснимые явления, осветив их подобно вспышке. Например, существуют популяции насекомых, численность которых из года в год совершенно неравномерно колеблется. Теперь созданы модели, с помощью которых эти колебания можно стало обработать математически; в главе 13 мы займемся этой темой подробнее.

Относительно всех этих феноменов, которые большинству людей представляются на первый взгляд чем-то доселе невиданным, можно привести цитату из Ветхого Завета: «Нет ничего нового под солнцем».

Действительно, уже на рубеже девятнадцатого и двадцатого веков французский математик Жюль Анри Пуанкаре (1854–1912), занимаясь вычислениями в области небесной механики, открыл возможность хаотического движения. Изучая модель звездной системы, имеющей два солнца и всего одну планету, Пуанкаре обнаружил, что такая планета может двигаться по немислимо сложной траектории, в чем-то схожей с траекторией футбольного мяча, ускоряющегося от случайных ударов. Здесь мы сталкиваемся с дилеммой, вечно стоящей перед наукой. Движение планеты происходит согласно как нельзя более строгим законам механики, однако выглядит при этом совершенно хаотичным.

Пример с планетой, вращающейся вокруг двух солнц, показывает нам, что даже очень простая механическая система может оказаться способна на весьма сложное движение.

¹Так я писал об этом в первом издании книги. С тех пор физики успели открыть хаотический лазерный свет.

Прежде движение планет в Солнечной системе по вечным и неизменным эллиптическим орбитам вокруг Солнца — в полном соответствии с законами ньютоновской механики — воспринималось как нечто само собой разумеющееся; теперь, в свете современных представлений, подобная стабильность кажется уже загадочной. Многие великие ученые занимались этой проблемой, пытаясь ответить на вопрос, поставленный в девятнадцатом веке королем Швеции: «Является ли наша Солнечная система устойчивой? возможно ли, к примеру, что некоторые планеты в конце концов столкнутся с Солнцем, а остальные окажутся выброшенными, извергнутыми из системы?» Речь, как мы видим, идет о процессах, имеющих непосредственное отношение к закону сохранения энергии и импульса в механике.

Ответ на этот вопрос, найденный современной математикой, до того деликатен и связан с такими тонкостями, касающимися периода обращения планет, что иногда с трудом верится в его окончательную истинность. И все же если эта теория соответствует действительности, то мы получаем возможность объяснить такой феномен, как кольца Сатурна (рис. 12.1). До сих пор предполагалось, что кольца Сатурна, состоящие, по всей видимости, из ледяных глыб, имеют структуру концентрических кругов, что подтверждалось астрономическими наблюдениями. Нясной оставалась лишь природа существующих между кольцами пустот.

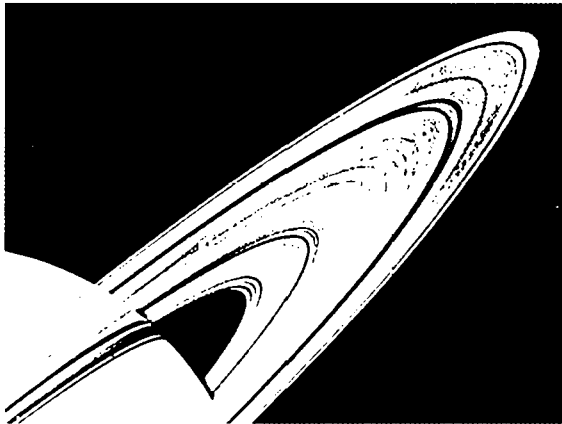


Рис. 12.1. Кольца Сатурна

Почему эти пустоты не заполнены льдом? Ответ математиков, занимающихся движением небесных тел, гласит: под воздействием лун Сатурна глыбы льда были вынуждены перейти на хаотические орбиты, а потому покинуть эти участки пространства. Насколько это утверждение соответствует истине, пока не ясно. Кроме того, снимки, сделанные американскими исследовательскими зондами с близкого расстояния, показывают, что мы имеем дело с еще более тонкими структурами, чем предполагалось. Как выясняется, кольца Сатурна напоминают изрезанную бороздками грампластинку, а считавшиеся прежде полыми участки пространства оказываются пронизаны чем-то вроде спиц. Словом, многое здесь продолжает оставаться загадкой.

Строго говоря, ответ на вопрос о том, каким образом происходит переход к хаотическому движению, возможен только в рамках математики — но даже и он становится всего лишь началом пути, ведущего к постижению природы хаоса.

Тем не менее, мы можем очень легко продемонстрировать, как именно удастся случайности прокрасться в строго предопределенное движение.

Игровые автоматы: запланированный хаос

Представим себе установленное вертикально бритвенное лезвие, на которое сверху падает стальной шарик (рис. 12.2). Справа или слева от лезвия упадет шарик, зависит от того, какой точкой своей поверхности он столкнется с лезвием; при этом исход дела решают мизерные доли миллиметра. Чуть левее от центра — и шарик отклоняется вправо, чуть правее — отклоняется, соответственно, влево. Совершенно очевидно, что весь процесс строго предопределен, но несмотря на предопределенность, ему все же присуща некоторая случайность. Это происходит потому, что мы в принципе не можем абсолютно точно предопределить или замерить начальное положение шарика. Однако именно малейшие сдвиги от первоначального положения шарика определяют в конечном счете его траекторию. Совершенно то же происходит при игре в кости. Кубик, конечно, обязательно упадет на стол — но то, которой из граней он коснется поверхности, с точно такой же

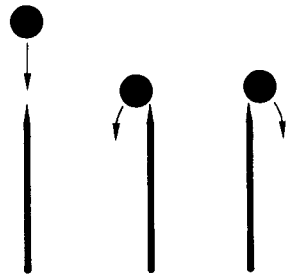


Рис. 12.2. Стальной шарик, падающий на лезвие бритвы

степенью чувствительности зависит от начальных условий, как и в случае с шариком, падающим на лезвие.

Мы видим, как начинает размываться грань, разделяющая случайные и строго предопределенные события, хотя пограничные случаи в философском смысле могут быть четко определены и для тех, и для других событий, да и существовать-то должны, собственно, только такие «пограничные случаи». Решающим является тот факт, что малейшая неточность в начальном положении оказывает впоследствии воздействие на весь дальнейший ход макроскопических событий.

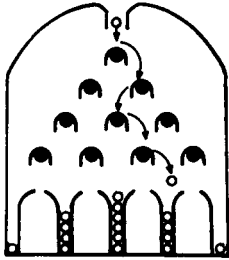


Рис. 12.3. Пример одного из игровых автоматов: где окончит свой путь шарик?

Порой практики, изобретатели и просто любители сотворить что-нибудь собственными руками оказываются пронизательнее любого ученого. Уже долгое время существует целая индустрия азартных игр, использующая автоматы, созданные на основе принципа подражания случайности, поразительно удачно воплощаемого в строго предопределенных механических процессах. Допустим, такая машина воспроизводит падение шарика на лезвие; при каждом новом броске траектория шарика остается для игрока непредсказуемой. Исход такой игры — дело случая, игра наудачу, однако при этом каждый этап игры вполне однозначно определен. Пример одного из довольно известных игровых автоматов такого типа представлен на рис. 12.3.

Север не всегда был севером

В фантастических романах иногда описываются события, происходящие с человеком, перемещенным в будущее или в прошлое. Предположим, что герой одного из таких романов, снабженный всем необходимым, перенесен автором в машине времени на сто тысяч лет назад. Теперь он должен сориентироваться при помощи компаса. Ему холодно, и потому он хотел бы отправиться на юг, взяв направление по компасу. Однако чем дальше он забирается в направлении, указанном компасом, тем холоднее ему становится; наконец в нем зарождается подозрение, что он движется вовсе не на юг, а на север. Компас указывает ему неверное направление! Так как компас показывает направление в соответствии с направлением линий напряжен-

ности магнитного поля Земли, мы вынуждены заключить, что изменилось магнитное поле.

Естественно, мы не можем никого отправить в прошлое на машине времени; однако Природа — иным способом, конечно, — все же дает нам возможность узнать о прошлом Земли. В Гренландии были обнаружены геологические формации, обладающие магнитными свойствами. В отдельных пластах горных пород элементарные «магнетики» оказались когда-то сориентированы в направлении, совпадающем с теперешним направлением магнитного поля Земли, а затем в некотором смысле «застыли» в этом положении и пребывают в нем до сих пор. Наблюдаемое осаждение горной породы позволяет сделать оценку ее возраста; от пласта к пласту направление намагниченности изменяется, и отсюда геологи могут сделать выводы о том, что направление магнитного поля Земли в течение миллионов лет время от времени менялось, однако без какой бы то ни было периодичности, т. е. совершенно не регулярно. Новейшие теории также разрабатывают возможность хаотической смены Землей местоположения своих магнитных полюсов.

Хаос в синергетике

После прочтения этого раздела кто-то из читателей, возможно, спросит: а какое, собственно, отношение имеет к описанным хаотическим процессам синергетика? Ведь синергетика — это учение о взаимодействии, причем речь постоянно идет о взаимодействии множества элементов в рамках единой системы. Однако в примере о движении планеты, вращающейся в системе двух звезд, мы имели дело всего с тремя телами. Кроме того, у читателя вообще могло создаться впечатление, что взаимодействие множества отдельных систем *всегда* ведет к возникновению упорядоченных структур или процессов. Эти моменты требуют гораздо более подробного рассмотрения, и в особенности потому, что полученные в ходе такого рассмотрения выводы мы впоследствии сможем использовать и в других областях — например при обсуждении процессов, протекающих в экономической сфере. Однако для разъяснения названных вопросов мы будем вынуждены прибегнуть к некоторым абстракциям, а посему менее заинтересованным читателям чтение данной главы можно на этом закончить и сразу перейти к следующей.

Связь с синергетикой станет ясна, как только мы обратимся к понятию «параметр порядка». Ранее на ряде примеров было показано, что синер-

гетическая система часто может управляться не одним-единственным, а сразу несколькими параметрами порядка. Скажем, возникновение в жидкости гексагональных ячеистых структур возможно лишь в результате сотрудничества трех различных параметров порядка: все они представлены волнами, образующими равносторонние треугольники. В других случаях — допустим, в ходе эволюции — различные параметры порядка могут уже не сотрудничать друг с другом, а напротив, *конкурировать*. Макроскопические свойства синергетических систем, таким образом, могут быть описаны через взаимодействие либо конкуренцию параметров порядка.

Формулируя задачи синергетики на языке математики, мы снова и снова пользуемся одними и теми же уравнениями, хотя рассматриваемые системы имеют при этом совершенно различную природу. Это свидетельствует как раз о том, что известные уравнения, описывающие параметры порядка, могут охватывать и хаотические процессы. Вспомним поведение нагреваемой снизу жидкости: коррелирующие друг с другом в фазе хаотического движения три параметра порядка вынуждают систему совершать колебания, переходя от одного типа движения к другому.

В результате предпринятых нами более тщательных исследований подобная корреляция параметров порядка представляется в следующем виде: на некотором временном интервале один из параметров порядка доминирует и порабощает два других, предписывая им подчинение его собственному типу движения; спустя какое-то время этот параметр порядка теряет свое господство, положением завладевает следующий параметр порядка, и «игра» продолжается. Следует особо отметить, что «смена власти» происходит абсолютно не регулярно, т. е. хаотично.

К упомянутой группе уравнений принадлежат и те, что описывают движение небесных тел, причем в роли параметров порядка в этом случае выступают координаты центров тяжести.

Сегодня нам известно, что при наличии большого количества коррелирующих параметров порядка следует ожидать хаотического движения, поэтому хаотическими следует признать и те случаи, которые прежде отбрасывались либо как следствие ошибки в измерениях, либо как противоречащие теоретическим положениям тогдашней науки. Примерами тому могут служить процессы, протекающие в экономике, или попытки управления самоорганизующимися процессами, в силу своей природы не требующими вмешательства извне — к таковым относится, скажем, разделение двух основных функций университетов, возникновение естественного процентного соотношения между исследовательским и учебным процессами.

Предсказуема ли погода, или Маленькие хитрости Святого Петра

Иногда, сидя субботним вечером у телевизора, мы радуемся благоприятному прогнозу погоды на следующий день — мы, к примеру, задумали выбраться на природу. Часто нас ожидает горькое разочарование: вместо обещанного чудесного солнечного дня воскресенье оказывается дождливым и ветреным.

Уже долгое время над повышением точности прогнозов погоды работают не только метеорологи, но также физики и математики. Один из них — Джон фон Нейман (1903–1957). Поистине гениальный математик-универсал, венгр по происхождению, позднее уехавший жить в США, он сформулировал фундаментальные принципы, на которых основана работа современных электронно-вычислительных машин, первая из которых была собрана при активном участии самого фон Неймана в США в сороковых годах. Разумеется, фон Нейману с самого начала было ясно, насколько велики технические возможности компьютера, особенно те, что связаны с обработкой очень больших массивов данных. Фон Нейман был инициатором создания на Земле плотной метеорологической наблюдательной сети; полученные посредством этой сети данные о давлении и влажности воздуха, температуре, скорости ветра и т. п. должны быть собраны и переданы центральному «погодному компьютеру». Поведение воздуха не слишком значительно отличается от поведения жидкости, и поэтому, опираясь на основные уравнения, описывающие движение жидкости, можно рассчитывать влажность и поведение движущихся воздушных масс, а следовательно, и делать прогнозы погоды. О схожести движения жидких и воздушных масс мы уже упоминали, рассматривая аналогию между облачными дорогами в небе и цилиндрическим движением, возникающим в жидкости.

Несмотря на то, что сеть метеорологических наблюдательных станций становится все плотнее, прогнозы погоды практически не улучшаются.

В шестидесятых годах американский метеоролог Эдвард Н. Лоренц вплотную занялся основными уравнениями, описывающими движение жидкости. Проведя расчеты на компьютере, он обнаружил, что эти уравнения предусматривают и такие формы движения, которые — как принято говорить сегодня — являются хаотическими. Но что есть хаос? Вернемся еще раз к квинтэссенции нашей последней главы: хаотическими считаются те процессы, течение которых полностью изменяется при малейшем изменении исходных условий (допустим, при изменении начальных значений скорости

воздушных масс). Разумеется, нам просто не под силу со стопроцентной точностью замерить движение воздуха, а ведь даже небольшая погрешность в измерениях в течение нескольких дней — а то и часов! — может породить громадную ошибку в прогнозе.

Видимо, как раз этим обстоятельством и пользуется святой Петр, вновь и вновь поражая наше воображение непредсказуемостью небес.

Можно ли приручить плазму? — Хаос в термоядерных реакциях

Древние греки называли четыре агрегатные состояния вещества так: земля, вода, воздух и огонь. Три первые нам всем хорошо известны; теперь они обозначаются нами как твердое, жидкое и газообразное. Однако современными физиками было открыто и четвертое состояние вещества — плазма.

Как мы уже видели, различные агрегатные состояния отличаются друг от друга на микроскопическом уровне только относительным расположением отдельных молекул; например, в газообразном состоянии молекулы свободно движутся, и столкновения между ними носят случайный характер. При нагревании газа движение молекул усиливается, и они при этом распадаются на отдельные атомы, прежде входившие в состав молекул газа. Отдельный атом, как известно, состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него отрицательно заряженных электронов. При высоких температурах — порядка нескольких миллионов градусов — не только молекулы, но и электроны входящих в их состав атомов приходят в движение настолько интенсивное, что их связи с атомными ядрами оказываются нарушены, однако положительный заряд ядер при этом сохраняется. Газ, в атомах которого произошел разрыв связи между ядром и электронами, физики называют плазмой. В природе вещества, находящиеся в таком состоянии, отнюдь не редкость. Например, из плазмы состоит наше Солнце — вследствие царящих там температур порядка нескольких сотен миллионов градусов.

При столь высоких температурах отдельные атомные ядра сталкиваются друг с другом с чудовищной кинетической энергией; в результате таких столкновений — путем соединения, к примеру, двух малых ядер — могут даже образоваться новые ядра.

Уже в тридцатые годы Ханс Альбрехт Бете и Карл-Фридрих Вайцекер занимались разработкой схемы, по которой ядра атомов вступают в реакцию

друг с другом; конечным результатом подобной реакции было возникновение из четырех ядер водорода нового ядра — ядра атома гелия. Аналогично тому, как в ходе химического соединения атомов в молекулу происходит высвобождение энергии, которая затем преобразуется в тепловое движение, в момент соединения атомных ядер высвобождается поистине колоссальное количество энергии. Именно в ходе таких процессов и производит энергию наше Солнце; энергия эта выбрасывается в космическое пространство, что называется, поchem зря: лишь малая ее толика достается Земле. Однако и столь малого количества энергии оказывается достаточно для того, чтобы обеспечить течение всех тех жизненных процессов, о которых мы неперестанно говорим на этих страницах.

Поскольку источники энергии, существующие на самой Земле (нефть, уголь и даже имеющаяся в нашем распоряжении атомная энергия), к сожалению, в легко обозримом будущем окажутся израсходованы, мы обязаны предусмотреть иные, новые способы получения энергии. В этом свете совершенно естественными представляются попытки воспроизвести в земных лабораториях процессы, протекающие на Солнце, чтобы впоследствии создать некое минисолнце, способное снабдить нашу планету энергией. С этой целью предлагается производить на Земле плазму, с помощью которой становится возможным осуществление термоядерных реакций, называемых также ядерным синтезом.

Процесс производства плазмы как таковой, собственно, не так уж и сложен. Электрическая дуга, которая используется для сварочных работ, представляет собой, по сути, плазму, производимую сильным током в воздухе между электродами. Ряд технических ухищрений позволяет ученым достичь и необходимых высоких температур. К сожалению, не обходится и без подвоха: даже при очень высоких температурах отдельные атомные ядра встречаются исключительно редко — им приходится преодолеть многие километры, прежде чем они наконец найдут себе партнера, с которым могли бы соединиться. Таким образом, для того, чтобы состоялась термоядерная реакция, заполненная плазмой область должна иметь поистине колоссальные размеры. Кроме того, частицы плазмы, естественно, очень быстро разлетаются. К сожалению, для плазмы невозможно подобрать подходящую тару: частицы плазмы — электроны и атомные ядра, — передвигаясь при столь высоких температурах, развивают колоссальные скорости и моментально пробивают стенки любых мыслимых емкостей. И все же физикам удалось найти способ, одновременно препятствующий разлечтанию частиц плазмы и вынуждающий их снова и снова сталкиваться друг

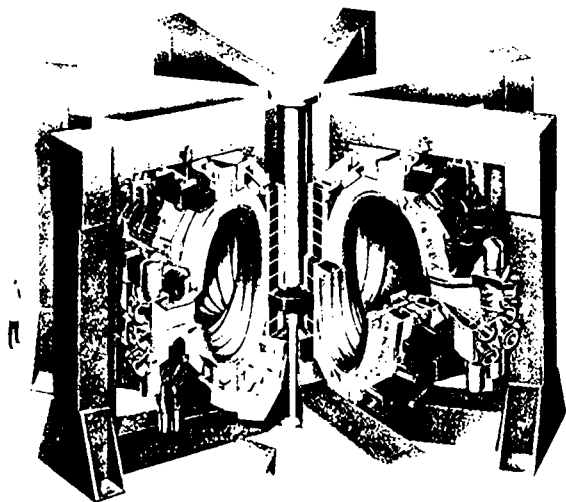


Рис. 12.4. Токамак — гигантская магнитная ловушка (представление о размере этого сооружения можно получить из сравнения с человеком, изображенным слева)

с другом. Плазма помещается в магнитное поле, для создания которого используются гигантские магниты; физикам известно, что заряженные частицы — каковыми и являются частицы плазмы, — попадая в магнитное поле, отклоняются, вследствие чего оказываются вынуждены двигаться по кругу. «Запертые» таким образом на относительно небольшом участке пространства (хотя диаметр этот по-прежнему измеряется многими метрами), частицы плазмы получают великолепную возможность найти партнера для вступления в термоядерную реакцию. Самая многообещающая магнитная ловушка такого типа носит название Токамак (рис. 12.4). Слово «Токамак» — русского происхождения; первая часть его значит «ток», а вторая является сокращением от слова «максимальный»². Таким образом, Токамак — это производитель максимального тока частиц плазмы.

И тут мы подходим к самому главному. Исследование плазм — настоящее эльдорадо для тех, кто интересуется неустойчивыми состояниями.

²Собственно говоря, сами русские (по крайней мере, если верить «Советскому энциклопедическому словарю», М.: Сов. энциклопедия, 1985) вкладывают в слово «токамак» несколько иной смысл, а именно: «тороидальная камера с магнитным полем». *Прим. перев.*

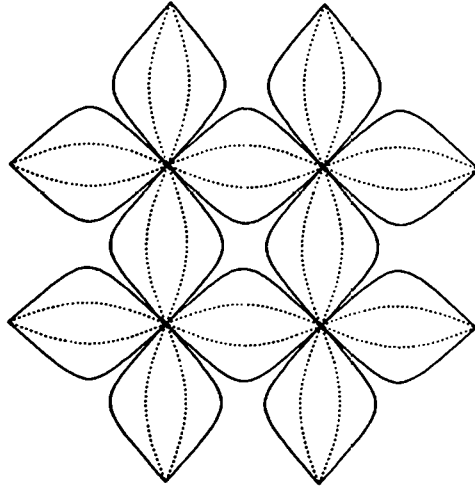


Рис. 12.5. Конфигурация, возникающая в нагреваемой снизу плазме, помещенной в вертикальное магнитное поле. На рисунке показаны горизонтали эшора скоростей

В ходе нашего повествования мы уже неоднократно убедились в том, что неустойчивость порождает изменения в макроскопическом движении. Физиками, занятыми изучением плазм, открыто уже более сотни различных типов неустойчивости: например, неустойчивости, при которых в плазме внезапно возникают волны, или такие неустойчивости, при которых образуются абсолютно новые конфигурации потоков. Одну из них мы рассчитали сами; конфигурация эта оказалась настолько красивой, что мы не смогли отказать себе в удовольствии поместить результат расчетов на этих страницах (рис. 12.5). Другой тип неустойчивости приводит через некоторое время к полному разрушению потока плазмы. Различные новые волны, конфигурации и прочая настолько многообразны, что физики, занятые изучением плазмы, порой делают попытки установить связи между ними и процессами, протекающими в живой природе. Однако, если рассматривать ситуацию с точки зрения возможности осуществления ядерного синтеза, то физики оказываются отнюдь не в восторге от большинства проявлений неустойчивости. Допустим, если в ходе процесса постоянно происходит смена одного типа неустойчивости другим, или колебания в системе все нарастают и нарастают, то становится попросту невозможно упорядоченно

прогнать плазму по кольцу. И тут на сцену выступает хаос — явление, в виде совокупности идей уже нашедшее свое место в физике плазмы. В предыдущих главах мы на ряде примеров уже убедились в том, что в динамических системах могут возникать различные типы совершенно неупорядоченного движения. Очевидно, возникновения такого рода движения следует ожидать и имея дело с плазмой. Итак, перед физиками стоит задача разобраться в сути хаотического движения и таким образом разработать технику, позволяющую управлять хаосом. Я не сомневаюсь в том, что это достижимо³. Разумеется, ученым предстоит проделать еще много исследовательской работы, причем благодаря синергетическому подходу отдельные отрасли знания могут и многое почерпнуть друг у друга, так как под хаосом (в научном смысле) подразумевается все же совершенно определенное явление.

³Контроль над хаотическими процессами действительно возможен — по крайней мере в ряде случаев (см. главу 13).

ГЛАВА 13

ТЕОРИЯ ХАОСА: ВЗГЛЯД ЗА КУЛИСЫ

Возможно, эта глава (носящая вдобавок еще и тринадцатый номер) несколько выходит за ставшие уже привычными рамки нашей книги: в ней будут несколько подробнее освещены теоретические основы детерминированного хаоса. О хаосе много говорят и пишут, причем весьма часто публикации в средствах массовой информации оказываются просто бессмысленными; читателю же, заинтересовавшемуся этой тематикой, наверняка хотелось бы заглянуть несколько глубже и узнать, чем же именно занимаются ученые, разрабатывающие теорию хаоса. Начнем мы с простого примера — в нем даже не будет ничего хаотического, — который, однако, поможет нам разобраться в том, с чего начинается теория хаоса. Каждому, наверное, известно, что представляют собой люлька или маятник. В нашем примере речь пойдет о движении некоего «идеального» маятника, на который абсолютно не распространяется, скажем, действие силы трения (например, в подшипниках), а потому наш маятник способен, естественно, раскачиваться бесконечно долго. В математике и теоретической физике такое движение представляется особыми графиками, позволяющими одновременно определять и положение маятника в некоторый заданный момент времени, и его скорость. Взгляните на рис. 13.1: сверху представлен наш маятник (отклонение от вертикальной оси, или амплитуда колебаний, обозначено буквой x), а ниже — соответствующая так называемая фазовая плоскость. Вдоль горизонтальной оси нанесено положение x маятника, а вдоль вертикальной, соответственно, его скорость v .

Начнем с крайней точки, достигаемой маятником при максимальном отклонении влево. В этой точке скорость маятника равна нулю, и на фазовой плоскости мы обозначим эту точку через x_0 . Отсюда маятник, естественно, качнется назад; отклонение при этом уменьшится, а скорость, напротив, возрастет — это дает нам участок кривой, находящийся в левом верхнем

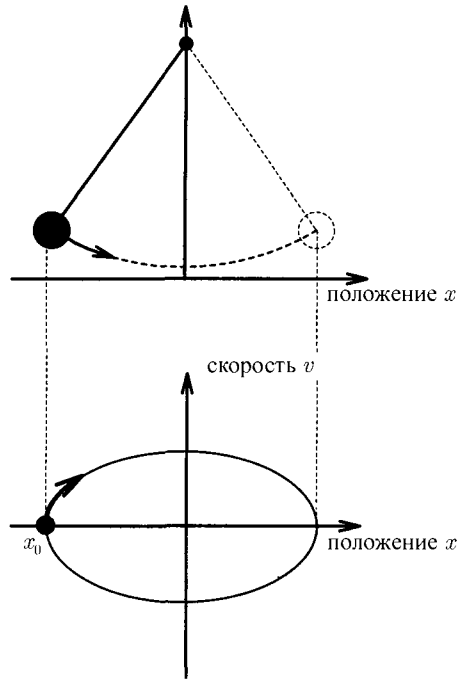


Рис. 13.1. Вверху: схема движения маятника; внизу: фазовая плоскость (пояснения даны в тексте)

квадранте фазовой плоскости. Затем маятник проходит через нижнюю точку своей траектории; здесь отклонение от вертикали равно нулю. Далее отклонение увеличивается, а скорость одновременно снижается, и мы получаем следующий участок кривой — он расположен в правом верхнем квадранте плоскости. Когда маятник достигает крайнего правого положения, скорость вновь падает до нуля; затем отклонение опять уменьшается, а скорость растет, но теперь уже в противоположном начальному направлении, что и отображено на графике нанесением значений скорости на вертикальную ось в нижней части плоскости. Аналогичным описанному образом мы проводим и завершающие этапы построения кривой, получая ее участки для правого и левого нижних квадрантов фазовой плоскости. Маятник продолжает движение, и весь процесс повторяется заново. Точка же, соответствующая на

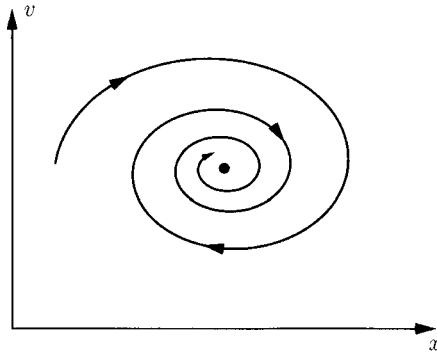


Рис. 13.2. Затухающие колебания маятника: траектория сходится к нулевой точке, называемой также фокусом

фазовой плоскости физическому положению движущегося маятника, проходит путь, описываемый полученной кривой, которая является, как показано на схеме, эллипсом. Такая замкнутая траектория называется предельным циклом.

Теперь перейдем к случаю движения реального маятника. Через некоторое время после того, как маятник получит начальный толчок, он должен будет остановиться под воздействием силы трения; с течением времени и амплитуда, и скорость маятника неизменно уменьшаются, что в конце концов придает фазовой кривой вид сходящейся к центру спирали (рис. 13.2). Чтобы маятник и в этом случае двигался по траектории, описанной для идеального случая и называемой предельным циклом, необходимо обеспечить постоянное поступление дополнительной энергии (так, бывает, машинально покачивают люльку). Незатухающие колебания маятника характеризуются совершенно определенным временным периодом, который можно измерить. В случае же затухающего движения свободно качающийся маятник, к сожалению, со временем теряет скорость и переходит в состояние покоя. Однако если маятник соединить с механизмом, который снова и снова «подталкивал» бы его, то мы получим нечто вроде часов; в действительности такая конструкция применялась многократно и в различных вариантах — сначала в чисто механическом исполнении, а затем в сочетании с кварцевым резонатором.

Маятник можно рассматривать как прототип колебательных процессов в различных областях; более того, бытует мнение, что именно такими пре-

дельными циклами или составленными из них кривыми задаются наиболее интересные траектории в фазовой плоскости — или в «фазовых пространствах» большей размерности. Кроме того, метеорологу Эдварду Лоренцу удалось сделать потрясающее открытие: исследуя динамику жидкости, он обнаружил, что уже в трехмерных моделях могут появляться совершенно поразительные траектории; один из примеров показан на рис. 13.3. Так был открыт хаос, а говоря точнее — открыт заново; в двенадцатой главе мы уже упоминали о том, что знаменитый французский математик Анри Пуанкаре занимался изучением разных типов хаотического движения еще на рубеже веков.

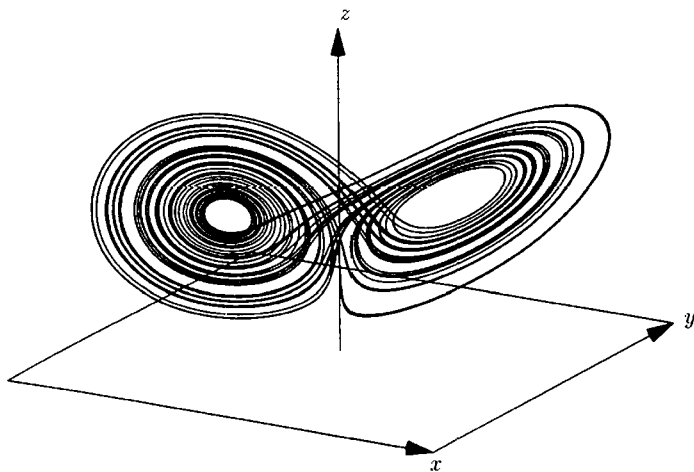


Рис. 13.3. Аттрактор Лоренца. Изображающая точка траектории сначала совершает вращательное движение в одной области пространства, а затем вдруг совершенно неожиданно перескакивает в другую область и некоторое время продолжает движение там; по истечении некоторого времени происходит новый «скачок» — обратно в исходную область — и т. д. Хотя описанное движение и удовлетворяет детерминистским уравнениям, прыжки выглядят как чисто случайные

Как показал мой бывший докторант Готтфрид Майер-Кресс, хаотическое движение весьма просто реализуется с помощью конструкции, называемой колесом Пола. Маятник пружиной соединен с рычагом, совершающим вследствие вращения двигателя периодическое возвратно-поступательное

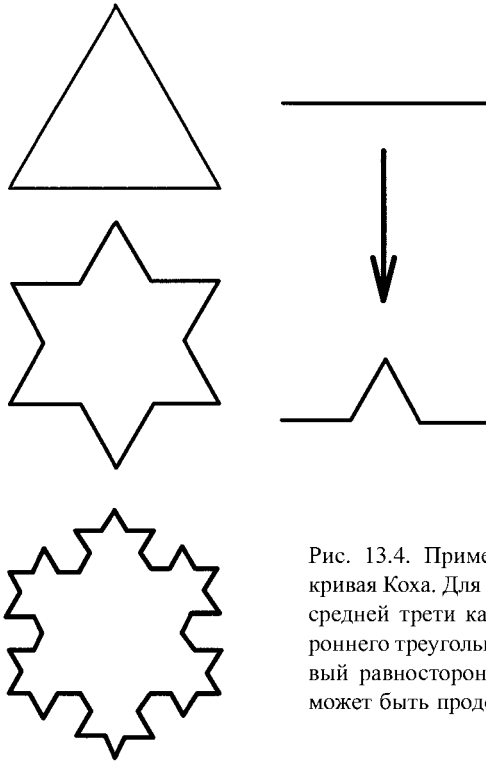


Рис. 13.4. Пример фрактальной кривой — кривая Коха. Для получения такой кривой на средней трети каждой из сторон равностороннего треугольника следует построить новый равносторонний треугольник; процесс может быть продолжен до бесконечности

движение. Когда сцепление невелико, движение рычага вызывает вынужденные колебания маятника. Таким образом возникают траектории, подобные той, что показана на рис. 13.1. Однако стоит увеличить сцепление, как картина внезапно меняется; обнаруживается некая «точка перехода», изменяющая период колебания маятника: чтобы вернуться назад в исходное положение, маятнику теперь требуется в два раза больше времени. После нескольких подобных промежуточных стадий, вызываемых повышением сцепления, движение маятника становится уже совершенно неупорядоченным, или хаотическим. Итак, очевидно, что порождение хаоса — задача не из сложных.

Естественно, математики и физики-теоретики задумывались о том, каким образом можно характеризовать подобные хаотические траектории бо-

лее точно. В первую очередь остановимся на феномене, который я называю «эффектом лезвия» (см. рис. 12.2); в научной же терминологии этот феномен известен как *чувствительность к исходным условиям*. Рассмотрим две траектории, поначалу проходящие в непосредственной близости друг от друга в фазовом пространстве. Как можно убедиться, они очень быстро расходятся — расстояние между ними увеличивается по экспоненте. Соответствующую кривую, описывающую скорость увеличения расстояния, называют еще экспонентой Ляпунова.

Следующим характерным свойством хаотических траекторий является их самоподобие. Продемонстрируем этот феномен на примере кривой, построенной шведским математиком Хельге фон Кохом еще в 1904 году (рис. 13.4). Помимо прочего, феномен этот демонстрирует одно любопытное следствие: невозможно со всей определенностью сказать, при каком увеличении мы рассматриваем семейство таких кривых (рис. 13.5): они выглядят одинаково в самых различных масштабах. Наконец, мы можем представить себе хаотические траектории как клубок шерсти, сквозь который снова и снова продевается нить. Шерсть в таком клубке заполняет пространство не полностью, а лишь частично; в этом случае говорят о фрактальной, т. е. дробной размерности кривой.

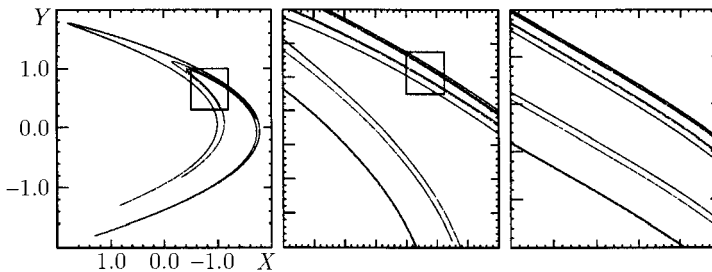


Рис. 13.5. Самоподобие на примере хаотического аттрактора: при увеличении какой-либо подобласти заметного изменения картины не происходит, вследствие чего невозможно определить, с каким увеличением представлен аттрактор

Надеясь, что читателя не слишком сильно отпугивает терминология, попытаюсь ввести еще одно важное понятие — аттрактор. На примере затухающего движения маятника мы видели, как кривая, описывающая его траекторию, приближается к нулевой точке. Точка эта в некотором смысле

притягивает к себе кривую или, иными словами, становится аттрактором. В случае хаотического движения состояние покоя не наступает никогда, однако и здесь мы можем говорить о существовании аттрактора. Допустим, некая траектория начинается где-то вблизи от так называемого аттрактора; войдя в данную пространственную область — в область притяжения — кривая уже никогда больше не покинет ее. Здесь кривая и будет кружить вечно; однако — как уже было упомянуто — так никогда и не сумев заполнить собою всего доступного ей пространства.

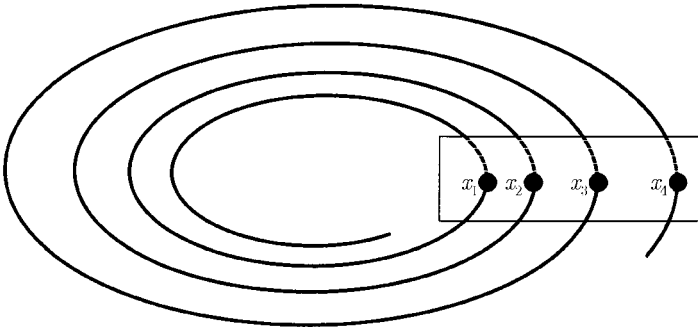


Рис. 13.6. Построение отображения Пуанкаре. В предлагаемом примере траектории движутся в трехмерном пространстве и пробивают при этом вложенную плоскость сечения. Координаты точек пробива образуют последовательность x_1, x_2, \dots

Поскольку характеристики подобных кривых не особенно наглядны при рассмотрении в трех или более измерениях, предпринимались попытки описать такие траектории, используя пространства меньшей размерности. Очень важный вклад в эти исследования внес Пуанкаре. На рис. 13.6 представлено отображение, названное его именем. С помощью отображения Пуанкаре стало возможно представить непрерывную кривую в виде последовательности отдельных, т.е. дискретных, точек x_1, x_2, \dots . Математики и физики-теоретики, кстати, склонны при случае к разного рода шуткам и играм: в конце концов такие шутки часто оказываются весьма полезны и в высшей степени продуктивны и поучительны, так как способствуют углублению взглядов на имеющие место закономерности. Одной из подобных забав казалось поначалу выдвигание в качестве постулата предположения о наличии зависимости между последовательными точками x_n .

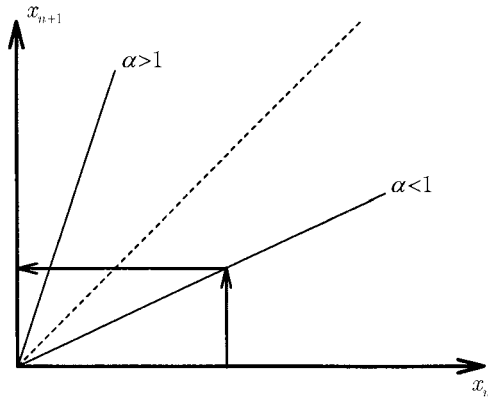


Рис. 13.7. Схематическое описание зависимости между координатой x_n точки, достигнутой кривой на n -м витке, и координатой следующей за ней точкой x_{n+1} , $n = 1, 2, 3, \dots$. Если эта зависимость линейна, как в данном случае, то не происходит ничего примечательного. При $\alpha < 1$ точки сходятся к некоторой нулевой точке, при $\alpha > 1$ — расходятся в бесконечность, в чем легко убедиться посредством итераций предлагаемого отображения

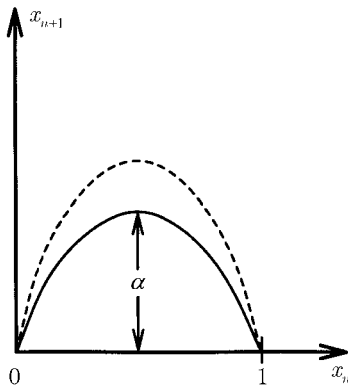


Рис. 13.8. Простейшая после линейной параболическая зависимость координаты $x_n + 1$ от предыдущего значения x_n

Например, координата точки на пятом витке кривой ровно в α раз больше, чем координата точки на четвертом витке. Правда, это еще не дает нам возможности сделать ни одного хоть сколько-нибудь интересного заключения (рис. 13.7). Если $\alpha < 1$, то точки в конечном счете сходятся к нулевой точке; в остальных случаях, т.е. при $\alpha > 1$, точки расходятся в бесконечность. При $\alpha = 1$ все точки совпадают. Однако рассматривая следующие по степени сложности кривые — например параболическую зависимость x_{n+1} от x_n — мы вдруг сталкиваемся с массой удивительнейших явлений. При увеличении высоты α (рис. 13.8) возникает совершенно иная последовательность значений x_n ;

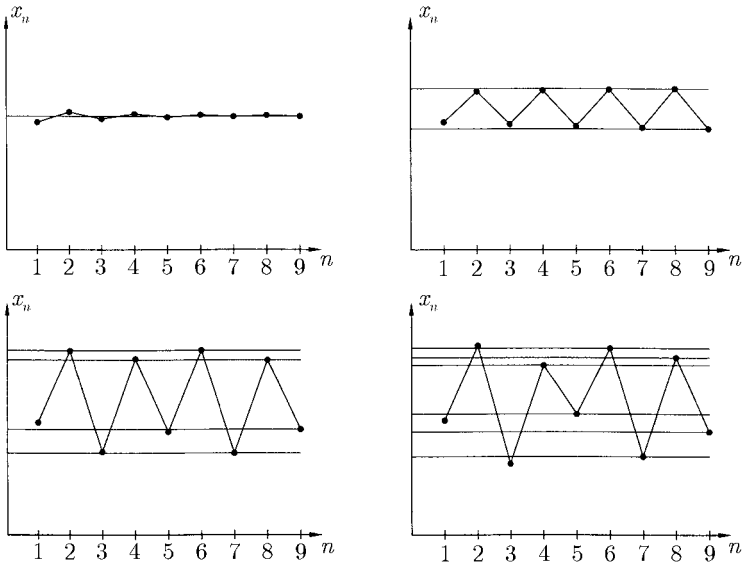


Рис. 13.9. Динамика изменений значения x_n в зависимости от высоты α (см. рис. 13.8); при малых α значение x_n остается постоянным. Если же α увеличивается, то при превышении некоторого критического значения возникает циклическое движение, при котором период достижения исходного состояния удваивается (сравните с первой частью рисунка). При дальнейшем увеличении α продолжительность периода удваивается еще раз (т. е. теперь она превышает начальную в 4 раза), затем — с очередным повышением величины α — вновь удваивается (и отличается от начальной уже в 8 раз) и т. д. В таких сериях обнаружен ряд любопытнейших самоподобных свойств

несколько первых элементов этой последовательности представлены на рис. 13.9. При вполне определенных значениях α период, необходимый кривой для достижения исходной величины x_n , удваивается; в этом случае можно говорить о последовательности удвоений периода. При некоторой предельной величине α эти удвоения периода переходят в совершенно неупорядоченную последовательность значений x_n , т. е. перед нами снова проявление хаотического поведения. Зигфрид Гроссман и С. Томе обнаружили здесь в высшей степени интересные общие закономерности; однако мы, похоже, углубляемся в излишние подробности — заинтересованных чи-

тателей я отсылаю к специальной литературе. Впрочем, добавлю еще, что проиллюстрированное на рис. 13.8 уравнение называется *логистическим* и применяется для описания неупорядоченных изменений, происходящих, например, в популяциях насекомых (о них уже упоминалось в предыдущей главе). Удвоение периода — это лишь *один* из путей к хаосу. Одно время, правда, считалось, что этот путь — единственный; однако затем были обнаружены и другие пути, и сегодня нам известно, что существует бесконечное множество различных способов достижения хаотического состояния — например, изменение какого-либо из параметров безобидного на первый взгляд эксперимента.

Приручение хаоса

Отличительной чертой хаотических процессов является их неупорядоченность и непредсказуемость. Это, в общем-то, существенно затрудняет настройку лазера, испускающего хаотический свет, ведь хотелось бы получить исключительно упорядоченные световые волны. Совершенно аналогично обстоит дело и со множеством других процессов, и не только в физике. Поэтому нет ничего удивительного в том, что ученые задались вопросом «а нельзя ли приручить хаос?»; иными словами, они попытались преобразовать неупорядоченное движение назад в равномерное. В ряде случаев это действительно возможно, и типичным примером тому может служить все тот же лазер. В главе 5 уже говорилось о том, что излучение лазером световых волн зависит от мощности накачки — т. е. от количества подаваемой энергии. При повышении мощности накачки возрастает и интенсивность испускаемого лазером света; в обратном случае, т. е. при снижении мощности накачки, интенсивность падает. Однако попутно здесь возникает и возможность управления «хаотичностью» лазерного света. Ничто не мешает нам создать электронное устройство контроля мощности накачки, основанное на измерении интенсивности испускаемого света: при увеличении интенсивности оно будет снижать мощность накачки, при уменьшении же интенсивности, напротив, повышать. Этот простой рецепт и в самом деле оказался хорош: с его помощью ученым удалось стабилизировать хаотический лазерный свет, принудив лазер испускать свет абсолютно равномерно в удивительно большом диапазоне интенсивности.

Наряду с этим было изобретено и даже испытано еще несколько контрольных механизмов такого рода. Об одном из них мне особенно хотелось

бы упомянуть, и не столько потому, что он был создан в Штутгарте, сколько потому, что он в определенном смысле слова парадоксален. При определенных обстоятельствах стабилизация хаотически действующей системы оказывается возможна благодаря использованию статистически распределенных помех. Этот процесс можно назвать и другими словами: из детерминированного и микроскопического хаоса в конечном счете вновь возникает порядок. Совершенно очевидно, что вопросы, связанные с «приручением» хаоса, являются центральными для всех исследователей, и можно ожидать, что здесь обнаружится еще много такого, что окажется чрезвычайно важным в смысле практического применения.

Исследователь хаоса в роли пророка

Одним из основных характерных свойств хаоса является чувствительность развивающейся системы к исходным условиям. Однако измерить начальные значения абсолютно точно не удастся никогда; отсюда проистекает неточность прогнозирования дальнейшего течения наблюдаемых в системе процессов. Тем не менее, ученые снова и снова пытаются на основании ряда данных получить прогнозы, касающиеся будущего системы. Каким же образом им это удается?

Во-первых, сразу следует заметить, что принципиально существующая ненадежность прогнозов при ближайшем рассмотрении оказывается лишь вопросом временного масштаба. Так, существуют системы, которые становятся непредсказуемы, скажем, уже через миллионную долю секунды, и такие, что могут развиваться в течение многих лет, прежде чем станут заметны погрешности прогнозов, предсказывающих это самое развитие. Именно поэтому можно считать бессмысленным высказывание о полной непредсказуемости хаотических систем — следует очень тщательно изучать каждую систему и взвешенно относиться к надежности касающихся ее прогнозов.

Предположим все же, что нам известны величины возникающих при прогнозировании погрешностей. Каким образом на основании имеющихся у нас численных данных мы можем предсказать будущее системы — например в экономике? Ответ на этот вопрос, вне всякого сомнения, особенно интересует биржевиков. Собственно, нет ровным счетом ничего удивительного и в том, что такого рода прогнозами, предсказывающими развитие дел на бирже, занимаются и физики, используя при этом положения теории хаоса. Здесь мы, разумеется, не имеем возможности подробно рассмотреть эти

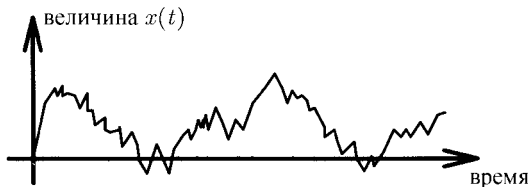


Рис. 13.10. Анализ временных рядов. Изменение величины $x(t)$ в зависимости от времени

положения, однако все же попытаемся дать читателю некоторое представление о соответствующих аспектах деятельности теоретиков и аналитиков.

В основе исследований лежит так называемый анализ временных рядов. Очень часто количество переменных, значимых для системы, весьма ограничено; порой нам приходится иметь дело и вовсе с единственной переменной, которую в ходе процесса можно измерять — таковы, например, изменения с течением времени интенсивности лазерного излучения или колебания совокупного общественного продукта в течение недели или месяца (рис. 13.10). Анализ временных рядов основывается на предположении, что поддающиеся измерению временные изменения являются проявлением определенных детерминистских закономерностей — пока, правда, неизвестных нам, но не исключающих возможность каким-то образом выяснить их суть. Достичь этого можно, пожалуй, следующим образом: по изменениям в ходе процесса некоторой переменной вынести суждение о кривых в фазовом пространстве, что позволит реконструировать кривые в хаотический аттрактор. Иными словами, по поведению одной переменной требуется сделать выводы о поведении других переменных, даже точное количество которых поначалу может быть неизвестно. Желаемый результат мы получаем, применив небольшую хитрость, подробнее описанную в примечании к рис. 13.11 и называемую реконструкцией аттрактора. Реконструируя затем кривую до определенной временной точки, мы можем экстраполировать полученные данные для составления более или менее точного прогноза.

Этот метод исключительно удачно применяется в целом ряде случаев: например при настройке лазера или при проведении определенных химических реакций, где возникают колебания хаотического характера. Но часто бывает и так, что распутать « клубок ниток », т. е. отыскать аттрактор, а следовательно, и разобраться в динамике процесса не представляется

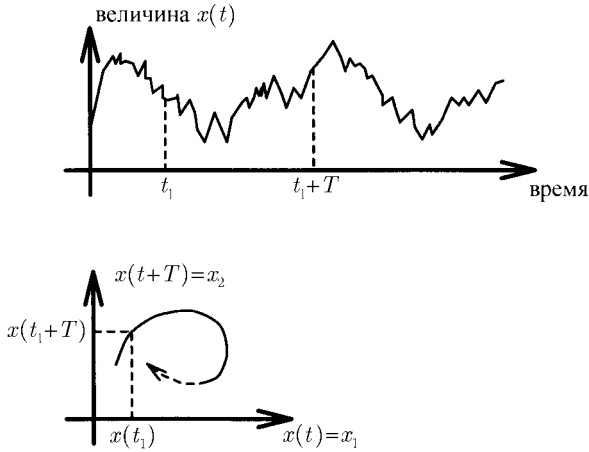


Рис. 13.11. Реконструкция аттракторов из временного ряда. В некоторый момент времени t_1 определено исходное значение x , второе значение x_2 определяется в момент времени, смещенный относительно первого на некоторую постоянную величину T . В нижней части рисунка оба найденных значения откладываются вдоль координатных осей, в результате чего мы получаем точку на плоскости. Таким образом обрабатываются все точки ряда, что дает траекторию, приведенную на рисунке. Участок, показанный пунктиром, представляет собой экстраполяцию в будущее, в котором данные измерений еще не получены. В случае хаотических аттракторов для реконструкции аттрактора требуется, по меньшей мере, трехмерная система координат (а то и система большей размерности). Соответствующие новые координаты получают при этом смещением временной оси не только на постоянную величину T , но и на $2T$ и т. д. При этом важная проблема выбора постоянной T до сих пор окончательно не решена

возможным. Применительно к бирже важно обратить внимание еще и на некоторые другие обстоятельства; при этом, разумеется, ни в коем случае не следует отказываться и от тех возможностей, что предоставляет исследователям вышеописанный анализ. Здесь временной анализ мог бы приобрести огромное значение именно потому, что в экономических событиях задействовано всего несколько величин, рассматриваемых синергетикой как параметры порядка, и, кроме того, существуют определенные внутренние экономические закономерности, с которыми приходится считаться; эффект же от применения временного анализа может оказаться весьма значительным.

Даже в тех случаях, когда результаты анализа не оправдываются, серьезные экономические институты (например финансовые консультанты) все же руководствуются ими при покупке или продаже акций. Для вкладчиков, конкурирующих с такой группой, естественно, оказывается важно знать, какие методы анализа при этом используются и к каким выводам они приводят. Парадоксальность ситуации, таким образом, заключается в том, что даже если метод анализа сомнителен, он представляет собой интерес для конкурентов, так как в «нормальных условиях» его следует принимать во внимание. С другой стороны, существует множество факторов, влияющих на события экономической — и в частности, биржевой — жизни, предугадать которые совершенно невозможно: таковыми являются, к примеру, революции, землетрясения и т.п. По-видимому, читатель уже почувствовал, что самая волнующая область экономического анализа — в особенности, применительно к бирже — открывается именно в исследованиях хаотических процессов.

В заключение хочется упомянуть еще и о том, что синергетика и исследования хаотических процессов все активнее внедряются и в работу ученых, занятых изучением мозга — однако подробнее об этом мы расскажем в главе 16.

ГЛАВА 14

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ЭКОНОМИКЕ

В предыдущих главах мы рассматривали процессы, изучаемые естественными науками, — процессы, которые даже можно описать на языке математики. В данной же главе (а также в следующей за ней) мы обратимся к проблемам, касающимся межчеловеческих отношений. Сразу встает вопрос о том, не является ли человек настолько сложным существом, что каждая попытка создания теории, призванной предсказать его поведение, изначально обречена на провал. Однако в экономике мы имеем дело уже не с поведением отдельного человека, а с поведением целых групп людей. Одно из положений синергетики — позднее мы обоснуем и поясним его — гласит: поведение больших групп людей прогнозируемо.¹ Вопрос, собственно, заключается в следующем: можем ли мы описать поведение *целых групп* — в экономическом или социальном контексте — при помощи неких универсальных закономерностей? Сам факт существования таких наук, как экономические или, скажем, социологические, свидетельствует о том, что попытка научного проникновения в сущность данного вопроса действительно имеет место. При этом мы заранее должны быть готовы к тому, что в силу сложности рассматриваемых проблем нам предстоит столкнуться с немалыми трудностями, связанными с различием между научными направлениями, два из которых следует выделить особо. Для первого направления характерно объяснение совокупности происходящих событий через поведение отдельного индивидуума, и колоссальную роль здесь играет

¹Слово «прогнозируемо» следует понимать, разумеется, *cum grano salis*². Речь идет лишь о предположениях; однако относительные отклонения в случае группы людей в общем существенно ниже таковых в случае отдельных индивидуумов. Для специалистов добавлю, что в рамках синергетики в противоположность привычной гауссовой статистике значительную роль играет *нелинейная* динамика.

²Букв. «с крупинкой соли» (лат.), здесь: «с осторожностью, с оговорками». — *Прим. перев.*

психологический компонент. Представители второго направления рассматривают события, происходящие в экономической или социальной сфере с точки зрения системы — причем сначала еще следует пояснить, что именно понимается в этой связи под словом «система».

Чтобы коротко и ясно описать позицию, занимаемую синергетикой, рассмотрим несколько конкретных примеров из экономики.

Вся экономическая жизнь основана на ряде закономерностей, по большей части неявных. Каждый коммерсант должен, естественно, заниматься планированием, и отчасти даже долгосрочным, ориентируясь при этом на поведение своих клиентов. Возьмем крайний случай. Магазин, торгующий товарами для новобрачных, практически ничего не знает наверняка о том, когда именно собирается вступить в брак та или иная *определенная* пара, и несмотря на это оказывается все же вполне способен предусмотреть потребность, скажем, в свадебных платьях; это возможно как раз потому, что расчет строится не на поведении какой-то отдельной пары, а на поведении множества пар. В основе этого расчета лежит эмпирический факт, что каждый год состоится определенное среднее число бракосочетаний. Учитывая то, что в таком деле существуют еще и сезонные колебания, о которых опытный управляющий, конечно, осведомлен, магазин может вести торговлю достаточно гибко.

Аналогичную картину мы обнаружим и в банке, который должен держать наготове деньги, необходимые его клиентам. Банку точно так же чаще всего неизвестно, когда именно придет тот или иной определенный клиент и сколько денег он пожелает получить. Несмотря на это, банк оказывается в состоянии обеспечить наличностью всех обратившихся за деньгами клиентов; искусство банкира, правда, в том-то и заключается, чтобы не держать слишком много денег наличными: для него это означало бы потери на долгосрочных вкладах.

Эти примеры иллюстрируют то, что мы знаем из опыта: в поведении очень больших групп людей существуют закономерности. При этом для синергетики важно различие между, так сказать, нормальным и необычным поведением. Под нормальным подразумевается поведение людей, действующих независимо друг от друга, т. е. не состоящих, допустим, в тайном сговоре покупать на следующей неделе хлеб только у булочника Такого-то. В случае независимого поведения действуют законы больших чисел, установленные в XIX веке гениальным математиком Карлом Фридрихом Гауссом (1777–1855). Применяя эти законы, можно не только предусмотреть, какое количество товаров магазину необходимо иметь в распоряжении, но

и возникновение колебаний, с которыми следует считаться, занимаясь торговлей.

Иначе обстоит дело с коллективным поведением. Именно оно и является предметом исследований в синергетике. Когда мы в дальнейшем будем говорить о коллективном поведении, мы будем подразумевать под этим такое поведение, при котором люди действуют так, словно они сговорились между собой; естественно, при этом ни в коем случае не имеется в виду, что каждому из этих людей действительно пришлось «сговориться» со всеми остальными.

Существуют ситуации, аналогичные тем, с которыми мы сталкивались, рассматривая в предыдущих главах примеры с лазером, жидкостью и т. п.: отдельный элемент оказывается прямо-таки вынужден действовать в духе, соответствующем совершенно определенному состоянию порядка, или организации, системы. Особенно яркими тому примерами являются экономические катастрофы — например массовая продажа акций при падении их курса (вследствие чего курс становится еще ниже) или скупка золота в периоды инфляции; ниже мы подробнейшим образом рассмотрим пусть не столь драматические, но, возможно, более важные и типичные случаи. Помня о том, что мы узнали, разбирая примеры из естественных наук, нетрудно будет понять, от чего зависит происходящее в экономической или социальной жизни. Мы видели, каким образом из-за определенных изменений внешних условий состояние системы становится неустойчивым, а затем сменяется другим — часто совершенно не похожим на прежнее. Отдельные элементы системы (например жидкости, заключенной в сосуде), «порабощенные» параметром порядка, вовлекаются в новое состояние.

С помощью синергетики удалось удивительным образом обобщить закон больших чисел: теперь мы имеем возможность установить закономерности даже в тех случаях, когда отдельные индивидуумы перестают действовать независимо друг от друга. В высшей степени сложная экономическая жизнь изобилует примерами синергетических эффектов; некоторыми наиболее типичными из них — такими, скажем, как поведение деловых людей — мы займемся подробнее.

Торговля мороженым на пляже

Следующим забавным примером я обязан одному из наших приглашенных профессоров — Тиму Постону. Речь в нем пойдет о двух продавцах

мороженого, решивших работать на одном пляже. Можно было бы наивно предположить, что наилучшим для обоих торговцев станет такой вариант: пляж следует поделить пополам, а каждый продавец должен занять место в середине своего участка. Однако это состояние не обязательно окажется стабильным. Вполне возможно, что одному из торговцев придет в голову перебраться поближе к «границе» с целью заполучить еще нескольких потенциальных покупателей, тем самым расширив свою клиентуру за счет конкурента. Конкурент, естественно, должен как-то отреагировать на этот маневр; в ответ он тоже перемещается ближе к границе между участками. Подобные перемещения могут быть произведены несколько раз, но цикл заканчивается всегда одинаково: торговцы встречаются на приграничной полосе и вступают в сильнейшую конкуренцию. Когда Постон рассказывал об этом, нам показалось, что оба торговца в результате этих маневров зарабатывают меньше, чем могли бы, оставаясь каждый в центре своего участка, так как, собравшись вместе посреди пляжа, они вообще теряют потенциальных клиентов из числа, скажем, обитателей окраинных областей. Перед нами пример зависимого поведения обоих торговцев (они зависят друг от друга, и поведение одного — это всегда реакция на поведение другого), в результате которого они вынуждены маневрировать в складывающейся ситуации таким образом, что оба остаются в проигрыше, зарабатывая меньше, чем могли бы, работая каждый из них изолированно от другого. Примеры такого рода весьма многочисленны, и мы с вами к ним еще вернемся.

Чем дольше я размышлял над этим примером, тем больше сомнений у меня возникало. Действительно ли продавцы *всегда* упускают свою выгоду, торгуя рядом друг с другом? Я вспомнил о наблюдении, сделанном мною во время многочисленных лекционных турне. Если в незнакомом городе мне хотелось посетить какой-то определенный ресторан или магазин, я почти всегда должен был подолгу плутать вокруг, обнаруживая, что именно в этом квартале или на этой улице один ресторан соседствует с другим, и магазины выстроены друг за другом. Это противоречит нашему привычному представлению о том, что торговцы должны бы, собственно, стремиться избежать конкуренции и потому размещать свои заведения по возможности равномерно. Так я пришел к предположению, что для анализа поведения деловых людей важна величина экономических районов; иными словами, важно знать, насколько мобильны клиенты, какими количествами времени и, так сказать, желания они располагают для того, чтобы преодолевать расстояния, разделяющие экономические объекты. Расчеты показывают, что в действительности равномерное распределение таких объектов весьма раци-

онально и целесообразно, если отдельный клиент готов преодолеть лишь небольшие расстояния. Однако он же оказывается способен и на большее — в том случае, если магазины расположены в каком-то одном районе. Такие «скопления» даже предпочтительны благодаря тому, что они обладают для потенциальных покупателей повышенной притягательной силой. Кооперируясь таким образом, они оказываются в состоянии предложить клиентам в общем гораздо более широкий выбор, чем отдельные магазины, расположенные изолированно друг от друга, в результате чего их привлекательность для покупателей возрастает, они затмевают конкурентов и вытесняют их. Это и приводит к появлению «скоплений», о который можно было бы подумать, что они, конкурируя, только мешают друг другу. Я знаком с деловыми людьми, которые открывают свои относительно небольшие магазинчики вблизи крупных торговых центров, зная, что таким образом обеспечивается больший поток покупателей. Подобные скопления «однопрофильных» предприятий, очевидно, возникали и в прошлом, о чем свидетельствуют, к примеру, названия улиц вроде лондонской Бейкер-стрит³.

Почему растут города?

Мы только что говорили о том, что магазины часто концентрируются в одном месте. Схожие механизмы управляют и человеческими поселениями вообще. Определенные социальные учреждения — такие как школы, церкви, больницы, суды, театры и т. п. — становятся необходимы и одновременно возможны только после того, как поселение достигает известных размеров. Размер поселения и появление в нем различного рода заведений оказываются, таким образом, взаимно обусловлены. С развитием коммуникаций и ростом потребностей людей (скажем, в сфере культурной или экономической жизни) усиливается желание остаться внутри такого уже достаточно большого поселения; кроме того, подобные места сулят возможность заработать хорошие деньги, а в странах победнее — хоть какие-нибудь деньги. Уже это само по себе оказывается основанием для того, чтобы большие города продолжали разрастаться, поглощая близлежащие городки и приводя к захирению более отдаленных. При этом начинается стихийный процесс постоянно усиливающейся централизации, в ходе которого побеждает некая определенная — как мы видели это в физике — «мода» (в данном контексте это некий центр). Перед нами типичный случай нестабильного разви-

³Baker Street (англ.) — «улица булочников». — *Прим. перев.*

тия. Будет ли этот процесс продолжаться, зависит, помимо прочего, еще и от имеющихся здесь средств коммуникации; при этом могут наблюдаться интересные примеры фазовых переходов. Стоит лишь количеству и скорости транспортных средств вырасти настолько, что жители непосредственно прилегающих к центру районов смогут добираться до него, затрачивая на это приемлемое для них время, как центр начинает безудержно разрастаться, поглощая эти районы. Очень эффективные транспортные средства могут, напротив, привести к возникновению вокруг центра так называемых городов-спутников, отчасти принимающих на себя роль «спальных» городов.

Особенно наглядно эту картину демонстрируют США, но и в Германии можно наблюдать нечто похожее; все более важное значение приобретают в этом процессе автомобили. Цены на пригодную для строительства землю в районах сосредоточения стремительно растут, и люди оказываются вынуждены искать жилье дальше от центра, но ближе к природе. Часто новые районы для будущего жилья обустроены очень скудно; здесь, в частности, может оказаться недостаточно (или почти совсем не оказаться) общественного транспорта, который доставлял бы жителей этих районов к их рабочим местам в центре. Общественный транспорт может оказаться здесь и вовсе невыгодным, не окупая затрат на самого себя, если «поселенцы» живут еще очень разбросано. Таким образом, для жителей районов, освоение которых только начинается, собственный автомобиль — это единственное эффективное средство передвижения. Только благодаря автомобилю многим людям удастся избежать жизни в переполненных городах. Одновременно возникает и разделение общего течения жизни на два отдельных русла — работа и дом, со всеми имеющимися в этом достоинствами и недостатками. Вследствие увеличившейся мобильности людей изменилась и экономическая структура; мы видели это на примере скоплений магазинов. «Лавочки тетушки Эммы» стали редкостью, почти совсем исчезли — их место заняли торговые центры с большими стоянками, на которых покупатели могут оставить свои машины. При возникновении новых поселений такого рода очень важно расширить транспортную сеть — будь то улицы, пригодные для автомобильного движения, или эффективные средства местного сообщения, которые могли бы окупиться по завершении начальной фазы поселения. Как и во всех прочих случаях синергетической организации, отдельные элементы системы здесь обуславливают существование друг друга. В случае пригородного транспорта это выглядит следующим образом. Для того чтобы вложения в транспорт окупились, им должно пользоваться достаточно много людей.

Люди же охотно пользуются транспортом — например городской железной дорогой — только тогда, когда он функционирует регулярно и с небольшими интервалами. Начальная фаза всегда связана с существованием неких «мертвых периодов». Интересна наблюдаемая при этом конкурентная борьба между автомобилем и железной дорогой. Многим европейцам, попадающим в США, сразу же неприятно бросается в глаза, что автомобили здесь бесповоротно вытеснили железнодорожный транспорт. И наоборот: одним из первых шагов, предпринимаемых американцем в Европе, оказывается аренда автомобиля — к удивлению европейцев, предпочитающих пользоваться поездами. Очевидно, существуют совершенно различные представления о «прогнесе»; формулируя окончательные суждения о подобных явлениях, мы должны быть весьма осмотрительны. Автомобиль дарит нам такую свободу передвижения в пространстве — это относится не только к работе, но и к отдыху, — о какой мы прежде едва ли отваживались мечтать. С другой стороны, именно с автомобилями связаны энергетические проблемы или, скажем, проблема загазованности. Принимая во внимание все многообразие и взаимосвязь различных компонентов такой сложной структуры, как наша жизнь, мне представляются в равной степени не соответствующими истинному положению автомобиля и проклятия в его адрес, и взгляд на него как на совершенное средство передвижения. Здесь необходим взвешенный подход, включающий в себя всю картину целиком. К примеру, частенько встречаются люди, которые ругают состояние дорог, вернувшись из отпуска, и одновременно активно выступают против строительства новой улицы в родном городе.

К сожалению, в рамках этой книги мы не имеем возможности продолжить рассмотрение этой интереснейшей проблемы, однако надеемся, что наши замечания дали читателю некий толчок для размышлений и некое представление о городах (и о транспортных средствах) не как о чем-то застывшем, данном раз и навсегда, а как о растущих и постоянно при этом изменяющихся структурах.

Управление бизнесом: делаем то, что делают конкуренты?

Рассматривая поведение продавцов мороженого, мы неожиданно затронули проблематику, связанную в экономических науках с теорией управления. Руководство фирмы должно наилучшим образом организовать структуру своего предприятия и выработать для себя оптимальную торговую

политику. Решения, принимаемые руководством фирмы, имеют, естественно, весьма различный характер, но при этом кажется — по крайней мере, в рамках известных теорий, — что принятые решения зависят единственно от самого руководства. Однако уже пример с продавцами мороженого свидетельствует о том, что такие решения могут быть приняты и под влиянием других фирм. Одна из причин этого заключается в следующем: последствия принятых решений исполнены неопределенности. Они зависят как от экономического положения в целом, так и от поведения покупателей, от того, каким образом они воспримут, скажем, появление на прилавках новой продукции и т. п. Разумеется, фирмы пытаются каким-то образом снизить существующую неопределенность, прибегая с этой целью к исследованиям рынка и используя рекламу. При этом значительную роль играют синергетические эффекты. Допустим, вводится новая продукция, права на которую часто защищены патентом. Внедрение нового товара, конечно, шло бы гораздо успешнее, если бы он был предложен сразу несколькими фирмами; фирмы помогают друг другу, привлекая к новинке внимание покупателей. Это синергетическое явление может иметь, естественно, и обратный эффект: рынок окажется переполнен. Таким образом, мы видим перед собой типичный пример поведения системы с ограниченными ресурсами. Подобные примеры мы уже неоднократно рассматривали: достаточно вспомнить хотя бы изменение мод лазера или особенно яркие примеры, связанные с дарвинистской теорией эволюции.

Как мы видели, усиление конкуренции может иметь различные последствия. С одной стороны, это может привести к дальнейшему сужению специализации — например к производству каких-то особо претенциозных товаров; с другой стороны — к генерализации, т. е. к значительному расширению предлагаемого ассортимента. В автомобилестроении существуют известные примеры такого разделения. В первом случае речь может идти о фирме, занявшейся производством исключительно спортивных машин, обладающих совершенно определенным имиджем; во втором случае это окажется фирма, выпускающая самые разные модели — от малолитражек до представительских автомобилей.

Даже эти немногочисленные примеры достаточно ясно демонстрируют нам, что проблемы, с которыми мы сталкиваемся, имея дело с экономической системой, ни в коей мере не являются статичными. Мы, скорее, обнаруживаем здесь многообразные процессы бесконечного изменения.

Вследствие неопределенности решений многие фирмы вынуждены наблюдать друг за другом, что в конечном счете без каких-либо специальных

договоров приводит к некоему коллективному поведению предпринимателей.

Здесь хотелось бы указать на существование одной очень важной точки зрения на данную проблематику; разобраться в ней с позиций синергетики очень легко. И в экономической теории, и в социологии снова и снова всплывает понятие «сговор». Порой создается впечатление, что предприниматели (или какая-то другая группа людей — например покупатели), что называется, «сговорились» против кого-то из своих же. Позднее мы, однако, убедимся в том, что коллективное поведение порой может вызывать к жизни такие процессы, избежать которых одиночке не под силу, так что в дальнейшем все выглядит так, будто против этого одиночки ополчился если уж не весь мир, так по крайней мере некая злонамеренная группа вступивших между собой в сговор людей. На одном конкретном примере мы сейчас продемонстрируем, что все решает не чья-то добрая или злая воля, а коллективно создаваемые условия.

Экономическое благоденствие и экономический упадок — две стороны одной медали

Обратимся к проблеме, которая обычно никого не волнует во времена экономически благополучные, но оказывается очень актуальной в периоды экономической депрессии: это проблема неполной занятости населения, а говоря проще — проблема безработицы. Разумеется, ученые интенсивно занимаются этой проблематикой, причем с течением временем их идеи, что вполне естественно, претерпевают изменения. Скажем, раньше экономика рассматривалась как статичная структура; эксперты пользовались такими понятиями, как рентабельность и эластичность. Каким же образом сумеет фирма адаптироваться в изменившихся условиях продаж? Сегодня все чаще на первый план выступает динамический подход к экономике, и экономические процессы рассматриваются как процессы развития, как своего рода эволюция. Такой подход вполне согласуется с генеральной линией синергетики, рассматривающей структуру не как некую данность, а стремящуюся постичь ее в ходе развития. В дальнейшем мы будем исходить из предложенной Герхардом Меншем математической модели, которая очень хорошо вписывается в общий метод мышления синергетики. Всем нам прекрасно известно (а теоретическая база для этих представлений была создана учеными-экономистами — такими, например, как Готфрид Хаберлер и др.),

что индустриальное общество проходит в своем развитии через фазы экономического благополучия и депрессии. При этом переходы от одной фазы к другой могут быть очень ярко выражены. Как мы уже убедились на многочисленных примерах из предыдущих глав, во многих системах даже небольшие изменения внешних условий, обозначенные нами как «контрольные параметры», могут вызывать весьма ощутимые изменения всей системы в целом. В дальнейшем мы попытаемся рассмотреть проблему полной занятости в свете именно таких представлений. Но прежде чем мы перейдем к поискам более глубоких причин подобных фазовых переходов, остановимся еще на нескольких важных наблюдениях, полученных в ходе экономических исследований.

Технические новинки и инновации — вечный двигатель экономики

Читатель уже неоднократно встречался с тем, что в поведении разнообразных систем существуют две совершенно отличные друг от друга области. С одной стороны, есть область, внутри которой система — будь то лампа или слой жидкости — ведет себя абсолютно нормально, т. е. при наличии небольших изменений внешних условий поведение системы практически не изменяется. Но вместе с тем имеется чрезвычайно интересная область, в которой система теряет устойчивость и устремляется к изменению состояния. Условия при этом, так сказать, благоприятствуют переходу в новое состояние. Когда состоится этот переход и каким образом он произойдет, часто зависит от случайных колебаний, или флуктуаций. Именно второй тип поведения мы обнаруживаем в обсуждаемой нами экономической модели. Но что в экономической жизни играет роль флуктуаций — так сказать, роль решающего момента? Группа относящихся к такому моменту событий — это нововведения, и в особенности те, что основаны на новых изобретениях. Речь здесь может идти как об изобретении двигателя внутреннего сгорания, самолета или телефона, так и об изобретении нового пылесоса. Существует масса изобретений, вообще не известных широкой публике и все же очень важных, — это изобретения, упрощающие производственные процессы. Все подобные новшества обозначаются на языке экономистов словом «инновация»; именно этим термином мы и будем пользоваться в дальнейшем. Начнем с наблюдений, полученных учеными, исследующими инновационные процессы. Сразу вслед за началом первой фазы (с появле-

нием инновации) открывается новая отрасль производства. Очень нагляден пример, связанный с изобретением автомобиля. Инновации, появившиеся в результате этого изобретения, были весьма многочисленны. Затем последовали инновации, целью которых было усовершенствование производственных процессов в только что возникшей отрасли. Расцвет новой отрасли промышленности сказался и на других отраслях экономики, что и привело экономическое положение в целом в состояние полного благополучия. Этот процесс может происходить очень по-разному: например, через рост оплаты труда и повышение вследствие этого покупательной способности населения, или через привлечение фирм-поставщиков, и т. д. Как показывают экономические исследования, в индустриальных странах Европы в конце сороковых и на протяжении всех пятидесятых годов преобладали инновации, позволяющие производить *новые продукты*, но не касающиеся *новых способов производства*. Затем, уже в шестидесятых, в области инноваций наконец произошел своего рода сдвиг, и производственные процессы претерпели ряд изменений, сущность которых можно охарактеризовать словом *рационализация*. Получение прибыли — вот тот простейший знаменатель, к которому можно привести мотивации для любого действия, предпринимаемого людьми в сфере экономики. Дискуссии на эту тему часто несвободны от эмоций — ну а как без них обойтись, скажем, владельцу автомобиля, размышляющему о повышении цен на бензин и полученной таким образом кем-то прибыли? Но мы попробуем обойтись без эмоций и не будем забывать о том, что сокращение прибыли в конце концов оборачивается убытком, а вопрос сохранения, к примеру, рабочих мест часто со временем вырастает в очень острую и животрепещущую проблему. Рассмотрим только экономические аспекты. С одной стороны, прибыль обеспечивается продажей достаточно большого количества какого-либо товара; с другой стороны, прибыль фирмы снижается при повышении заработной платы. Это влияет на цены и даже может привести к сильнейшей конкуренции. Вместе с тем, расширение производства часто связано с вводом нового вида продукции, что поначалу, естественно, сказывается определенным образом и на ее цене. И повышение зарплат, и стремление снизить начальную цену нового продукта ведут к тому, что инвестиции в первую очередь направляются именно на рационализацию производственных процессов, а не по экспансивному пути повышения продаж. Это значит, что фирмы предпочитают не те инновации, в результате которых появляется новый вид продукции, а те, что ведут к усовершенствованию самого производственного процесса. Автомобильная фирма, таким образом, охотнее займется вводом в произ-

водственную цепочку новых автоматических сварочных станков, а не новой модели автомобиля.

Уже упоминавшаяся математическая модель Герхарда Менша, позаимствованная так называемой теорией катастроф, разработана на основе эмпирических данных и описывает наблюдаемый переход от полной занятости к безработице. Я перевел эту модель на язык синергетики и доработал. На множестве примеров, приведенных в настоящей книге, читатель мог убедиться в том, что с помощью графических построений мы почти всегда можем непосредственно просчитать результат изменения внешних условий, т. е. новое равновесное положение системы (например лазера или ячеистой структуры, возникшей в слое жидкости). На рис. 14.1 графически показано изменение синергетических затрат при изменении объема производства, обозначенного буквой x . Предположим для начала, что экономика находится в равновесном состоянии. Теперь рассмотрим, как изменяются синергетические затраты при изменении характера производимой продукции. Так как речь в данном случае идет об устойчивом равновесном положении, мы получаем именно ту форму кривой, которая изображена на рис. 14.1.

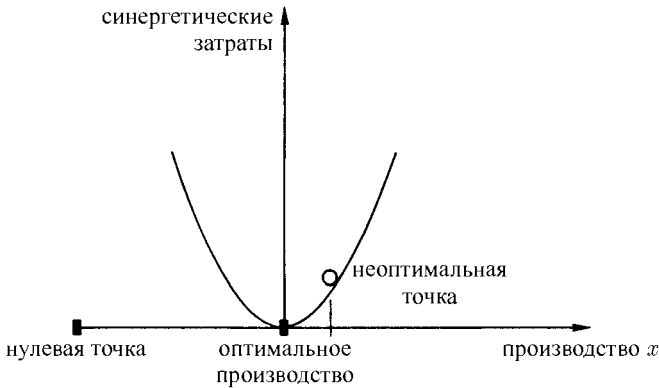


Рис. 14.1. Изменение синергетических затрат при изменении объема производства x

Далее исследуем изменение характера этой кривой после ввода в наш пример инвестиций, благотворно влияющих на производственные процессы. Поскольку мы стремимся к повышению производительности, кривая, очевидно, сместится вдоль горизонтальной оси вправо, по направлению к

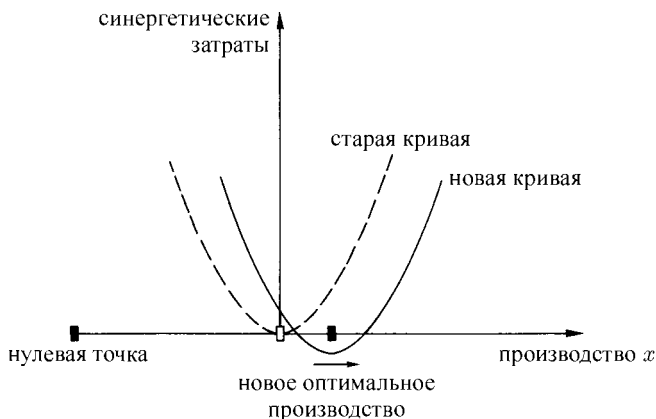


Рис. 14.2. При введении инвестиций кривая затрат сдвигается так, что происходит увеличение количества произведенной продукции x

более высоким производственным показателям; таким образом, получаем кривую, изображенную на рис. 14.2. Меры же, ограничивающие производство, напротив, представляются сдвигом кривой влево. Что же произойдет при рационализации производства. Результатом такого процесса могут стать две совершенно различные ситуации; поясним это на примерах. Человеческий труд может быть заменен работой новых машин, вследствие чего себестоимость продукции снизится. Фирма, соответственно, получит возможность сохранить прибыль даже при условии ограничения производства. Рационализация при этом оказывается нацелена на снижение объемов производства. Однако можно рассматривать процессы рационализации и с другой стороны: продукция станет дешевле, и рынок примет большее количество товаров. Оба возможных результата — и снижение, и увеличение производства — могут быть представлены при помощи синергетической кривой (рис. 14.3), вид которой, наверное, не удивит читателя. Наша иллюстрация весьма выразительно демонстрирует тот факт, что тезис о существовании *единственно возможного* равновесного положения в экономике следует отбросить как неверный. Мы видим, что возможны два устойчивых состояния, при рассмотрении с чисто экономической точки зрения совершенно равноправных. Устойчивость же означает, что описываемые состояния не претерпят существенных изменений при небольшом вмешательстве в систе-

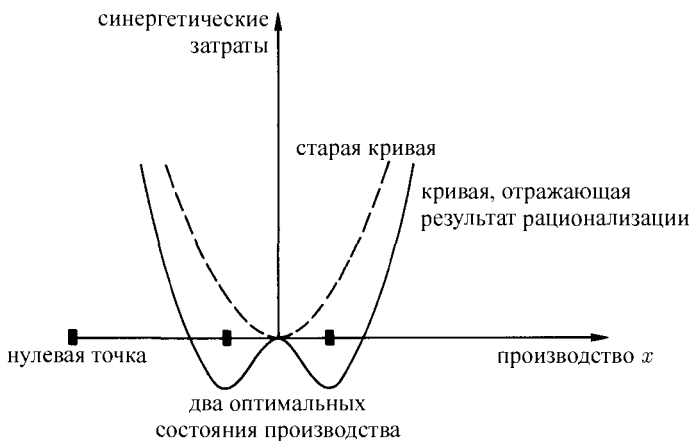


Рис. 14.3. Процесс рационализации производства ведет к тому, что появляется уже не одна, а две точки, соответствующие оптимальному уровню производства (количество производимой продукции может быть как увеличено, так и уменьшено)

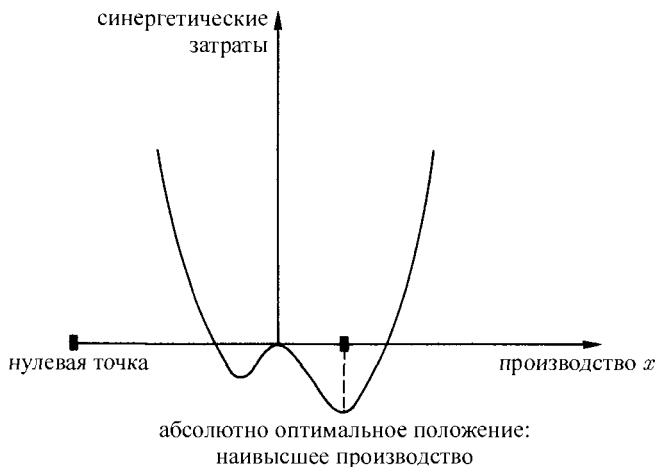


Рис. 14.4. Вследствие совокупного воздействия рационализации и инвестиций, направленных на расширение производства, достигается абсолютно оптимальное положение, соответствующее наибольшему возможному количеству выпускаемой продукции

му извне. При подобном положении вещей, разумеется, можно попытаться заранее нарушить эту внутреннюю симметрию, в результате чего синергетические затраты окажутся искусственно изменены (рис. 14.4). Каким же путем это достигается?

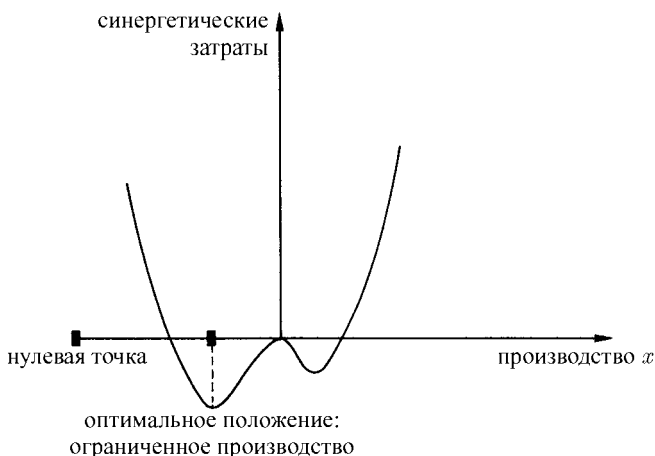


Рис. 14.5. При сокращении инвестиций и прежнем уровне рационализации для предприятия становится более благоприятным положение, соответствующее снижению выпуска продукции

Допустим, описываемая нами экономическая ситуация осложняется тем, что для внедрения в производство инноваций фирма располагает лишь определенной ограниченной суммой инвестиционного капитала. Подобное ограничение инвестиций означает сдвиг кривой влево, в направлении сокращения производства. Картина же, получаемая в результате применения методов рационализации на фоне сокращения инвестиций, схематично показана на рис. 14.5. Здесь видно, что экономическое положение в такой ситуации однозначно определяется левым минимумом, соответствующим сокращению производства, а значит, и сокращению рабочих мест.

Последняя схема объясняет заключение, к которому пришел еще Герхард Менш. Чтобы рационализация производственных процессов привела к увеличению выпуска продукции и, соответственно, к полной занятости, необходимы инвестиционные вложения, направленные на рост производ-

ства; лишь при соблюдении обоих условий может быть осуществлен экономический процесс, который характеризует кривая, показанная на рис. 14.4 (см. рис. 14.6). Увеличившийся же объем продукции может быть принят рынком только в том случае, если инновации были связаны с производством новой продукции.

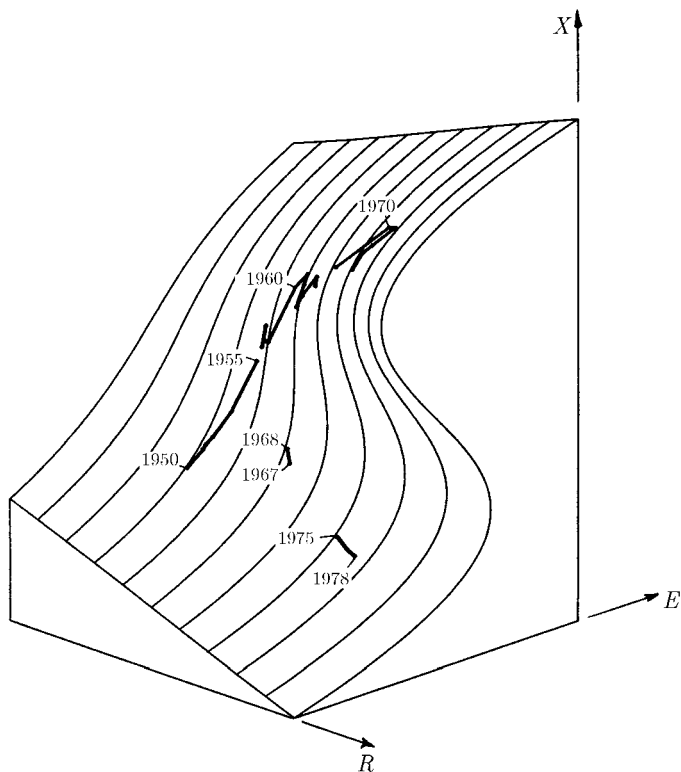


Рис. 14.6. Диаграмма, обобщающая результаты, полученные Герхардом Меншем и его сотрудниками. Здесь показано, как изменяется «оптимальное» количество выпускаемой продукции в зависимости от того, на что оказываются направлены инвестиции: на расширение производства (E) или же на рационализацию производственных процессов (R). Для примера взяты производственные показатели Германии в разные годы. Обратите особое внимание на скачки, свидетельствующие о недопроизводстве

Представленными моделями — а даны они уже почти на профессиональном уровне — я хотел продемонстрировать читателю, как при помощи синергетики довольно сложные понятия могут быть представлены в относительно простом виде, и насколько четко выглядят результаты синергетического подхода к проблеме. С другой стороны, я так же, как и в предыдущих главах, не склонен скрывать тот факт, что полное изложение теории протекания процессов такого рода уже само по себе может занять целые тома, и, разумеется, никак не входит в наши планы; настоящая книга призвана, скорее, побудить к дальнейшим размышлениям на предложенные темы, а может, и к попыткам моделирования еще более сложных процессов.

При этом следует ясно осознать, что наряду с математическим моделированием свою роль здесь играет еще и интерпретация гипотез и результатов. Так в связи со снижением прибыли мы говорили о том, что одна из причин может заключаться в высокой оплате труда занятых в производстве людей. И наоборот, высокие зарплаты — по крайней мере отчасти — стимулируют последующий рост цен, что, в свою очередь, приводит к повышению стоимости изготовления продукции и вместе с тем опять-таки оплаты труда. Перед нами известный спиральный цикл «зарплата — цена продукции». Но так как один феномен обуславливает другой, то — с точки зрения синергетики — искать «виноватого» в этом случае практически бесполезно. Достоинно внимания здесь то, что подобная спиральная зависимость (например «зарплата — цена») вызывает изменение параметров, которое, в свою очередь, само может оказаться причиной «опрокидывания» экономических процессов.

Внезапные коллективные изменения в экономической жизни

Как показывает сравнение обсуждавшейся выше кривой синергетических затрат с опытными данными, экономика, по всей видимости, оказывается в состоянии как бы предчувствовать возникновение более глубокого минимума такой кривой и реагировать на «скачок» в него (рис. 14.7). Интересно, что такой «скачок» часто происходит с некоторым запозданием. Кроме того, экономические науки во многих случаях не способны определить причины подобных «скачков». Находимые же причины носят, по большей части, чисто внешний характер — типа повышения цен на нефть; однако в рассмотренном нами примере инвестиционного поведения предприятия

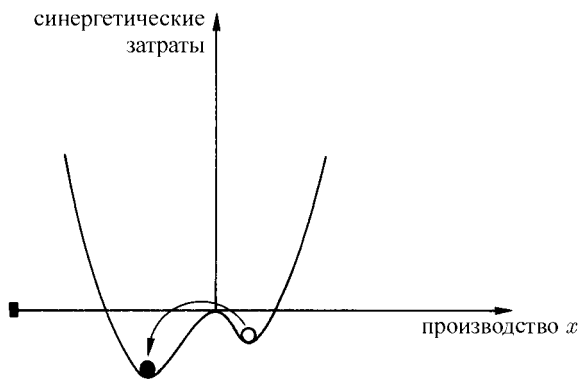


Рис. 14.7. «Скачок» экономики из относительно благополучного состояния в положение, соответствующее абсолютно благоприятному для фирмы в смысле прибыли (или синергетических затрат), но никак не в смысле полной занятости

более важными и значимыми оказывались, скорее, причины внутренние. Экономическое положение изменилось уже до такой степени, что подобный «скачок», что называется, давно следовало сделать, только вот никто не доверял себе настолько, чтобы отважиться на это. Речь в данном случае идет об эффекте, знакомом нам по примеру из физики. Воду охлаждают снизу; точка замерзания давно пройдена, и вода уже должна, казалось бы, превратиться в лед, однако продолжает оставаться в состоянии, называемом метастабильным. И только в результате случайной флуктуации или незначительного внешнего воздействия вода внезапно и молниеносно замерзает.

Нечто похожее происходит и в экономике. Речь при этом идет именно о таких процессах, которые вызваны внутренними причинами (как, скажем, в том случае, когда *одна* фирма решает предпринять некие шаги с целью рационализации производственных процессов. Однако если уж и в самом деле пришло время рационализации, остальные фирмы обязательно последуют ее примеру. Действия первой фирмы выступают здесь в роли флуктуации и становятся своего рода сигналом для остальных предпринимателей. По-видимому, подобный образ действий часто оказывается «обрамлен» указаниями на другие «внешние» причины, однако ни одна из них не бывает в достаточной степени серьезна и значительна для того, чтобы стать основой столь важных решений такого рода. Действительной же причиной является экономическое положение *в целом* — именно оно в данных обстоятельствах

выступает в роли «управляющего параметра». Внешние причины оказываются при этом всего лишь толчком (в буквальном смысле слова), который изменяет положение шарика, вынуждая его переместиться в точку, соответствующую минимуму синергетической кривой; возникновение же такой точки является следствием общего экономического положения, т. е. именно «внутренних» причин, подготовивших ее появление, ну а коль скоро такая точка возникла, шарик больше не может оставаться в прежнем «правильном», устойчивом положении (рис. 14.7). Следует отметить, что порой точное разграничение причин на «внутренние» и «внешние» оказывается невозможно. Так, к примеру, вполне возможно следующее: постоянный рост цен на нефть станет причиной систематической деформации кривой синергетических затрат и приведет таким образом к радикальному изменению экономического положения в целом; в этом случае цена на нефть сама становится управляющим параметром.

Результаты рассмотрения объясняют также причины того, что многие фирмы, работающие в одной сфере, часто практически одновременно совершают ряд весьма похожих действий. Если же какое-то из этих действий не совпадает с общей направленностью, то оно идет вразрез и с общей тенденцией в экономике, а значит, приводит ситуацию в высшей степени неблагоприятную точку кривой, характеризующей синергетические затраты.

Как видим, решения фирм, кажущиеся со стороны коллективными, вовсе не обязательно оказываются результатом каких-то «сговоров», о существовании которых часто подозревают; вместе с тем, мы не можем утверждать, что подобные договоры вообще не имеют места.

Рационализация (равно как и другие мероприятия такого рода) являются, по сути, не только *следствием* общего состояния экономики. Фирмы могут заняться рационализацией и *в ожидании* сокращения рынка сбыта и ужесточения конкурентной борьбы. Собственно, рационализация производства уже сама по себе ведет к сокращению рынка, так как в процессе ее возможно произойдет высвобождение рабочей силы (увольнение с предприятий ставших лишними сотрудников), а значит, общее уменьшение покупательной способности. Таким образом, причина и следствие перестают быть различимы.

Из этого одновременно следует, что не существует однозначного ответа на вопрос о том, каким образом экономика способна выйти из устойчивого состояния неполной занятости; ответ в данном случае опять-таки зависит от целого ряда комплексных процессов. Заключение, к которому пришел Герхард Менш, неубедительно: то, что именно рост инвестиций,

направленных на расширение производства, ведет к не менее устойчивому положению, характеризующемуся полной занятостью, верно лишь до тех пор, пока рынок оказывается способен принять увеличившееся количество выпускаемой продукции. Возможна, таким образом, и такая ситуация, когда форсированное развитие экономики осуществляется посредством повышения покупательной способности, добиться чего можно, к примеру, за счет снижения налогов.

Читатель наверняка почувствовал, что мы уж очень углубились в экономическую теорию. Однако это было необходимо для того, чтобы продемонстрировать основополагающий принцип: даже при незначительных изменениях условий возможно возникновение совершенно различных, однако равно устойчивых положений.

Экономика сложнее, чем полагал Адам Смит

Уже предыдущие наши рассуждения и наблюдения противоречат той традиционной теории свободной рыночной экономики, которая восходит ко временам Адама Смита. Он исходил из того, что при свободной конкуренции всегда устанавливается одно — и возможно даже единственное — положение равновесия. Однако мы уже рассмотрели прямо противоположный пример: случай возникновения не одного, а двух возможных устойчивых состояний. При этом экономике в целом отнюдь не просто «перепрыгнуть» из одного устойчивого состояния в другое, так как зачастую этот процесс становится возможен только благодаря неким коллективным действиям. В действительности же экономическое поведение гораздо более сложно. Допустим, экономика может, подобно маятнику, постоянно перемещаться из одного устойчивого состояния в другое. Полная занятость при этом периодически сменяется частичной безработицей. Речь в данном случае идет о цикле Шумпетера, названном так в честь австрийского экономиста Йозефа Алоиса Шумпетера, тщательно изучавшего механизмы, лежащие в основе такого рода циклов.

Государственное управление экономикой: проклятие или благословение?

В предыдущих главах уже говорилось о том, что в экономической жизни существуют определенные стихийные процессы, которые могут приводить, помимо прочего, и к возникновению нежелательных явлений — таких,

скажем, как частичная безработица. Встает вопрос: а нельзя ли воспрепятствовать этому при помощи какого-то внешнего — например государственного — контроля? Следует пояснить, что под словами «государственный контроль» мы подразумеваем чрезвычайно широкий спектр различного рода мер регулирования. В качестве иллюстрации возьмем совершенно конкретную физическую систему — лазер. Как нам известно, при изменении одного-единственного параметра, а именно количества подводимой к лазеру энергии, становится возможно достижение эффекта самоорганизации атомов, благодаря которой возникает когерентное излучение. Изменяя мощность накачки, мы осуществляем весьма неспецифичный контроль, который в равной мере касается каждого атома и, несмотря на это, приводит к возникновению очень детально организованного поведения лазера. Достичь того же эффекта можно было бы другим путем: например при помощи специальных световых полей извне управлять каждым атомом *по отдельности* таким образом, чтобы они начали излучать свет синхронно. Такой путь, без сомнения, потребовал бы колоссальных затрат, ведь мы вынуждены были бы непосредственно и целенаправленно управлять и контролировать каждый отдельный атом. Совершенно аналогично обстоят дела с возможностью контроля и в экономической сфере: с одной стороны, контроль возможен, но с другой стороны, он требует слишком больших затрат. На смоделированных примерах можно очень быстро показать, насколько велики затраты, необходимые для управления и контроля отдельными процессами; контроль требует затрат гораздо больших ресурсов, чем те, что он позволяет сэкономить в результате, например, согласования отдельных процессов. Вследствие этого некоторые государственные учреждения — и в особенности бюрократические — по-прежнему остаются закрытыми системами.

Гениально в лазере именно то, что мы с очень небольшими затратами (т. е. вообще не имея информации о состоянии отдельных атомов лазера) при помощи простейших действий можем привести атомы лазера к самоорганизации. Не возникает ни малейших сомнений и в том, что как раз толковые-то экономисты-эксперты и придерживаются той точки зрения, что в экономической сфере для управления следует применять *наименее дорогостоящие из возможных* методы контроля. К сожалению, мы легко можем убедиться в том, что все мы находимся под неусыпным и разнообразным контролем государства; контроль этот проявляется, с одной стороны, в форме чрезвычайно дифференцированного управления и тщательно проработанных законов, а с другой стороны — в виде целевых дотаций и льгот, результаты распределения которых схожи с результатами полива из

садовой лейки. Рассмотрим здесь пару примеров; один из них отличается повышенной, так сказать, политической брызгантностью.

Одной из задач, стоявших перед правительством в период борьбы с послевоенной разрухой, была поддержка строительства жилья. Интересно, что здесь мы обнаруживаем возможность осуществления государством обоих упомянутых мною выше методов контроля. Во-первых, все имеющиеся деньги государство могло направлять на сооружение жилых домов. Другой метод заключается в том, чтобы регулировать ситуацию при помощи некоторого контрольного параметра. Сам по себе такой контрольный параметр не представлял, собственно, никакого особого веса в финансовом смысле, однако денежный поток направлялся при этом в нужную сторону. В роли контрольного параметра выступало льготное налогообложение для частных лиц, желающих самим заняться строительством собственного жилья. Таким образом, капиталовложения граждан направлялись именно на строительство — то есть на проблему, решением которой должно было в тот момент заниматься государство, и оно действительно решало ее, но при этом оказывалось освобождено от необходимости вкладывать в решение только государственные средства.

Вторая, политически весьма взрывоопасная тема касается законов об охране прав съемщиков жилых помещений. Они служат прежде всего социальной потребности граждан, снимающих жилье, в защите от необоснованного расторжения договора о найме жилых помещений. Одновременно эти законы включают в себя и условие, касающееся платы за съем жилья; можно не только легко уяснить себе, но и доказать строго математически тот факт, что плата эта оказывается заморожена на определенном уровне. В результате же получается так, что домовладельцы, сдающие жилье внаем, теряют стимул к строительству новых домов, так как они слишком быстро теряют рентабельность. В конечном счете все это приводит к острому дефициту жилых площадей, потому что частные вкладчики направляют свои денежные средства в другие, кажущиеся более прибыльными сферы экономики.

Этот пример явно указывает на конфликтность ситуации, причем законодательство, решая эту двухстороннюю проблему, в некотором смысле разветвляется. Законодатель должен, таким образом, установить приоритеты, и нам четко видно непосредственное влияние законодательства на экономические процессы даже в тех случаях, когда таковое изначально самими законодателями не предусматривалось.

Вероятно, сейчас многие ждут, что для устранения такого рода затруд-

нений у синергетики имеется некий универсальный рецепт. Ничего подобного! Однако ни в коем случае не потому, что синергетика еще недостаточно развита как наука; скорее, наоборот. В рамках синергетики мы на бесчисленных примерах убедились в том, что существуют конфликтные ситуации, в которых одно решение принципиально исключает другое. Единственное, что можно предпринять в данных обстоятельствах, — это смягчить конфликт путем увеличения дифференциации. Однако это означает очередные внешние затраты, которые в дальнейшем никоим образом себя не оправдают.

В заключение сто́ит остановиться еще на одном примере государственного вмешательства, которое может иметь для экономики серьезные последствия. Читатель этой книги снова и снова сталкивается с тем, что даже небольшие изменения внешних условий могут стать причиной весьма ощутимых изменений всей системы в целом. Одним из таких внешних условий оказывается в жизни граждан уже упоминавшееся налогообложение. В этой области очень легко возникают взаимоотношения, при которых даже самое незначительное повышение налогов может решительно изменить поведение населения в потребительском смысле, так что в результате очень быстро изменится и экономическая ситуация в целом — среди прочего, например, может усилиться безработица. Мне лично кажется, что мысль о влиянии даже небольших изменений внешних условий (в равной степени это касается и условий жизни) на изменение состояния всей системы пока еще не проникла в сознание очень многих политиков.

Экономический хаос как следствие управления в отсутствие понимания

Наконец остановимся еще на одном пункте, уже само упоминание о котором многим экономистам представляется настоящим кощунством и святотатством; он, однако, вполне обоснован математически, и это, несомненно, дает нам уверенность в том, что в обозримом будущем он будет принят и представителями экономических наук. Благодаря примерам из физики и химии нам известно, что хаотически могут протекать любые процессы, в том числе и управляемые. К примеру, существуют химические реакции, протекающие с периодической сменой цвета вещества с красного на синий, но так, что при этом период, необходимый для изменения цвета, постоянно сокращается. Было доказано не только экспериментально, но и теоретически, что поведение всей системы в целом может в дальнейшем полностью пе-

ремениться: регулярное периодическое изменения цвета стать совершенно хаотическим.

Аналогичным образом ведут себя и сложные комплексные системы в экономике. Более того, следует ожидать, что контрольные меры, не принимающие во внимание особенностей системы, могут привести к ярко выраженному хаотическому протеканию процессов.

Естественнонаучные дисциплины — в частности, биология — располагают обширной литературой, посвященной хаотическому поведению, и для экономистов было бы полезно заняться этой проблематикой⁴.

Мир во всем мире: экономический аспект

Мы уже убедились в том, что целый ряд экономических феноменов поддается сопоставлению с явлениями, наблюдаемыми в физических системах. В основе аналогий лежит тот факт, что экономические процессы — по крайней мере в определенном объеме — могут быть описаны при помощи математических законов и что, опираясь на схожесть математических соотношений, их, следовательно, можно сопоставлять с процессами физическими. В этом смысле мы и рассматривали модель, касающуюся вопроса, который пользуется особым, повышенным интересом. Вопрос этот и в самом деле весьма актуален и заключается в следующем: в состоянии ли более тесные экономические связи упрочить мир на нашей планете?

Во всем мире господствует тенденция, направленная на установление более тесных экономических контактов между антагонистически настроенными по отношению друг к другу политическими системами с целью упрочения таким образом мира. Представление процессов подобного рода с помощью математических средств привело меня к результату, который поначалу выглядел просто ошеломляющим. Обнаружилось, что существует не только случай максимальной устойчивости, достигаемой укреплением экономических связей, но еще и возможность того, что такое состояние, будучи поначалу вполне устойчивым, при дальнейшем усилении связей может внезапно утратить устойчивость и стать источником катастрофы.

Сегодня интерпретация стабильного существования — это уже почти политическое достояние. Каждый из партнеров видит, что тесные экономические отношения выгодны и для его собственного благосостояния, а

⁴Это уже произошло. Типичный пример приводится в разделе «Исследователь хаоса в роли пророка» (с. 159).

потому хотел бы, чтобы такие связи не только не подвергались опасности разрушения, но еще и расширялись бы и становились прочнее.

Следует разобраться: то ли математическая модель не срабатывает в случае неустойчивости системы, то ли за этим кроются какие-то другие, более глубокие причины.

Нам известно, что неустойчивость может реализоваться лишь тогда, когда в системе возникают какие-либо флуктуации. Скажем, для случая совместного проживания разных народов в роли таких флуктуаций могут выступать различные — экономические, политические или военные — кризисы, которые могут быть даже очень узко локализованы. Следствием же подобных флуктуаций могут оказаться принятые одной из сторон репрессивные меры, вызывающие, соответственно, сопротивление противоположной стороны; противодействие нарастает и приобретает взрывоопасный характер конфликта.

Представленная модель демонстрирует, по меньшей мере, тот факт, что укрепление экономических связей отнюдь не обязательно автоматически ведет к упрочению политической стабильности.

Более того, представляется необходимым — и на этом мы расстаемся с чисто математическими аспектами — основывать стабильность на более прочном фундаменте, а это, несомненно, осуществимо лишь при условии углубления взаимопонимания и взаимного доверия.

Синергетические эффекты: смысл и бессмыслица

К критическим замечаниям, касающимся последствий упрочения экономических связей между различными государствами, мы можем добавить еще и критические замечания относительно «синергетических эффектов» в экономике. Это ставшее модным словосочетание часто можно встретить даже в проспектах, выпускаемых крупными фирмами. За словами «синергетический эффект» стоит идея, касающаяся объединения фирм, включая сюда и случай покупки одной фирмой другой. Считается, что благодаря подобному объединению взаимодействие фирм усилится, а значит, возрастет и общая эффективность новой фирмы. Допустим, фирмы, объединившись, начинают совместный выпуск определенных деталей; количество выпускаемой продукции растет, и производство становится более рациональным. Однако именно здесь и может находиться ловушка: вследствие объединения могут возникнуть, например, проблемы с коммуникацией, ведущие к потерям в результате внутренних трений и даже снижающие эффективность

обеих фирм. Вопрос о синергетических эффектах оказывается, таким образом, весьма и весьма непросто и требует тщательнейшего анализа; одними модными словечками здесь не обойтись.

Постижение законов синергетики: все во имя человека, все на благо человека

На ряде конкретных примеров читатель неоднократно имел возможность убедиться в том, что экономические процессы часто обладают поразительным сходством с процессами, изучаемыми другими науками, — например физикой или химией. Наиважнейшую роль в этих случаях играет коллективное поведение. На основе такого поведения могут возникать явления, решительным образом расходящиеся с классической экономической теорией в духе Адама Смита и его постулата об экономическом равновесии. Несомненно, в будущем экономисты-теоретики всерьез займутся такого рода феноменами и новыми методами синергетики, чтобы с их помощью суметь лучше понять и наконец оформить происходящее в экономике. При этом мы не должны упустить из вида следующее обстоятельство. Как и для любой другой теории в рамках экономических и особенно социальных наук, для синергетики существует проблема интерпретации полученных ею математических результатов, и объясняется это прежде всего тем, что для всех экономических процессов характерны обширные и неразрывные социальные связи: они глубоко проникают в жизнь каждого отдельного человека — как в общественную, так и в частную. В этом и заключается одна из причин того, что математические выкладки оказываются здесь неприменимы. В то же время мы встречаемся со словом «технократия», по большей части воспринимаемым с неодобрением, потому что технократы с их умозаключениями иногда выступают против идеологических подмен трезвой оценки реальности чьими-то субъективными желаниями. Однако следует четко уяснить для себя, что в целом ряде случаев процессы в комплексных системах (а экономика именно к таковым и относится) характеризуются таким понятием, как «неизбежность», и избежать возникновения подобных процессов, прячась за идеологическими выдумками, действительно невозможно. Скорее следует постараться постичь природу этого автоматизма, чтобы затем, уже с новых, более высоких позиций относясь к происходящему, суметь обратить его во благо каждому отдельному человеку.

ГЛАВА 15

ПРЕДСКАЗУЕМЫ ЛИ РЕВОЛЮЦИИ?

В своем фантастическом романе «*Foundation*»¹ знаменитый американский писатель Айзек Азимов изображает ученого, доктора Селдона, который способен просчитать поведение человечества на много сотен лет вперед. Герой романа имеет, в частности, в своем распоряжении средства для предсказания революций. Прогнозы такого рода, естественно, занимают не только ученых в фантастических романах: и для нас с вами, и, безусловно, для политиков способность делать такие прогнозы хотя бы на несколько ближайших лет оказалась бы чрезвычайно ценной. Революцией называется переворот, в результате которого один государственный порядок в отдельно взятой стране сменяется другим. Используемое в этом определении слово «порядок» сразу же отсылает нас к наиважнейшему вопросу синергетики: каким образом в результате взаимодействия отдельных элементов системы возникает порядок? В контексте темы данной главы этот вопрос звучит так: каким образом в результате взаимодействия отдельных граждан возникает упорядоченная государственная структура?

Общественное мнение в роли параметра порядка

Здесь мы снова сталкиваемся со своеобразными взаимоотношениями между отдельными индивидуумами и упорядоченной структурой. Структура подчиняет себе индивидуумы; однако верно и обратное: именно индивидуумы и поддерживают существование структуры. Исследуем эти взаимоотношения подробнее на примере такой актуальной социологической темы, как формирование «общественного мнения».

Наш тезис звучит следующим образом: господствующее общественное мнение играет роль параметра порядка, оно подчиняет себе личные мнения

¹ В русских переводах известен как «Основание» или «Академия». — *Прим. перев.*

отдельных людей и распространяется все шире и шире, поддерживая тем самым свое собственное существование.²

Тезис этот, естественно, нуждается в более глубоком обосновании, и я рад сообщить читателю, что социологическая литература содержит массу необходимых для такого обоснования сведений. Разумеется, отношения в области, изучаемой социологами, намного сложнее по сравнению с таковыми в лазере или в жидкости, ведь здесь задействованы еще и другие силы, другие компоненты системы; в качестве таких подсистем можно рассматривать средства массовой информации, с одной стороны, и правительство — с другой. Несмотря на подобные осложнения, мы все же оказываемся в состоянии разобраться в том, каким образом возможно при помощи операций над понятиями синергетики проложить тропу сквозь джунгли различного рода хитросплетений и получить в результате довольно четкую и ясную картину взаимосвязей отдельных элементов общества.

В рамках упомянутого тезиса выдвинем следующие положения:

- 1) Люди, как правило, находятся под влиянием некоего господствующего суждения о чем-либо и склонны к нему присоединиться.
- 2) В принципе, у людей есть два способа узнать о том, что думают другие: прямые контакты и средства массовой информации.
- 3) Средства массовой информации обладают собственной динамикой.
- 4) Среди прочих средств массовой информации способность прессы к коллективному воздействию определяется покупательским поведением ее читателей.
- 5) В демократическом государстве при создании правительства значительную роль играет общественное мнение.

Синергетика допускает рассмотрение целого ряда подобных взаимосвязей между параметром порядка и подчиненной ему системой с помощью

²Слово «подчинение», или «порабощение», я использую в качестве синергетического термина, выражающего взаимозависимость между параметром порядка и элементами системы. Однако слово это, как выяснилось, на дух не переносят социологи, которым сама возможность какого бы то ни было порабощения или подчинения свободных людей кажется в высшей степени отвратительной. Так или иначе, слово это — пусть даже оно кого-то и раздражает — все же представляется мне важным, и не в последнюю очередь потому, что будоражит наше воображение, не давая ему попасть в плен механизмов, управляющих коллективным поведением. Впрочем, вместо слова «подчинение» были предложены и другие термины — например «сопряжение» или «консеуализация» (последнее принадлежит Хеннингу Бальку).

математических моделей; в результате такого рассмотрения можно выявить некую динамику формирования общественного мнения. Попробуем ответить на вопрос о том, каким же образом понятие «параметр порядка» и принцип подчинения способны осветить взаимосвязи между различными силами, действующими в обществе. Для этого обратимся к рис. 15.1, на котором упомянутые взаимосвязи представлены в виде диаграммы. Стрелки на диаграмме обозначают направления влияния; дальнейшее, более подробное и тщательное рассмотрение отдельных взаимосвязей мы будем основывать именно на этом конкретном примере.

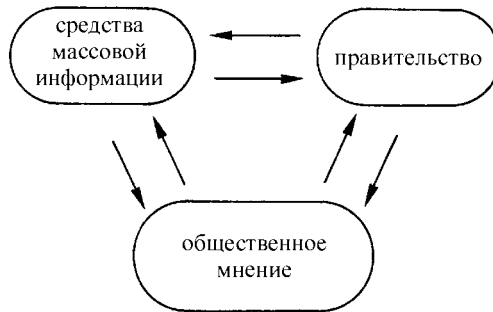


Рис. 15.1. Взаимосвязи между правительством, средствами массовой информации и общественным мнением

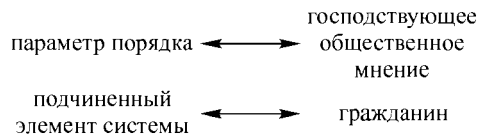


Рис. 15.2. Формирование мнения отдельного человека подчинено господствующему суждению

Концепция подчинения параметром порядка других компонентов системы достигла в социологии шокирующих размеров. Считалось, что формирование суждения отдельной личности полностью подчинено влиянию господствующего суждения (рис. 15.2). Это утверждение оказалось настолько провоцирующим, что вскоре были предприняты попытки выдать его за

недопустимую экстраполяцию естественнонаучных процессов в область социологии. Не будем, однако, судить слишком поспешно, а предоставим слово самим социологам. В своей книге «Спираль молчания»³ известная исследовательница общественного мнения Элизабет Нозль-Нейман собрала наблюдения ведущих социологов, подводящие под наш тезис более прочный фундамент. Размышляя о многочисленных примерах, включенных в эту книгу, повествующую о новых типах параметров порядка и подчиненных подсистем, мы прежде всего должны задаться вопросом о более точном определении понятия «параметр порядка». Поскольку в нашем примере мы идентифицируем параметр порядка с господствующими политическими взглядами, нам следует прежде всего выяснить, что же, собственно, это такое — общественное мнение?

В социологической литературе существуют десятки определений этого понятия. Поскольку данная книга обладает, в основном, естественнонаучной направленностью, наше определение должно по возможности включать в себя измеримые величины и избегать каких-либо двусмысленных понятий. Мы можем воспользоваться теми же методами, какими пользуются научные организации, исследующие общественное мнение.

Упомянутые организации разрабатывают для своих нужд нечто вроде перечня вопросов, охватывающего самые актуальные проблемы современности. В качестве типичных примеров таких вопросов можно привести следующие: «Являетесь ли Вы сторонником смертной казни?», «За какую партию Вы проголосовали бы в настоящий момент?» и т. д. Опросив некоторое количество людей, социологи пересчитывают голоса, отданные, скажем, той или иной партии, и получают, таким образом, картину соответствующего распределения мнений. Выстроенные на основе подобных подсчетов диаграммы позволяют очень легко выяснить, какие именно политические настроения преобладают в данный момент. Такой подход можно считать эквивалентом исследования структуры в традиционном научном представлении (рис. 15.3).

Однако для синергетики важна прежде всего динамика происходящего, то есть процесс *образования* структур. В первую очередь нас интересует вопрос о том, каким образом вообще возникает обнаруженное распределение. Здесь возможны два крайних случая. В первом случае перед нами совершеннолетний гражданин, абсолютно самостоятельно формирующий свое собственное мнение; во втором — человек, склонный разделять мнение

³*Die Schweigespirale* (Piper, 1980).

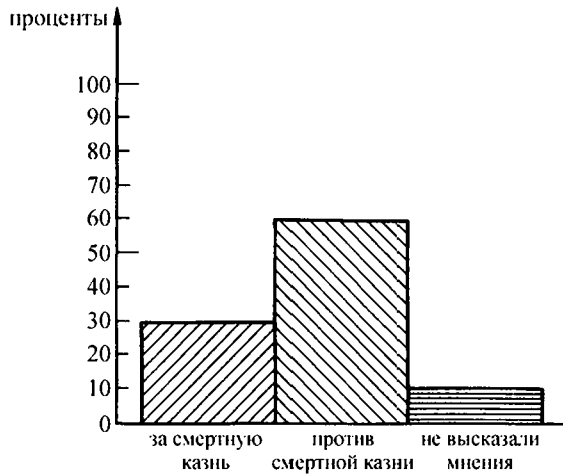


Рис. 15.3. Пример распределения мнений по вопросу о смертной казни

окружающих, легко поддающийся чужому влиянию. Именно в последнем случае описанные нами взаимосвязи — или, иными словами, синергетические эффекты — и играют решающую роль.

Внушаемы ли люди?

Теперь, опираясь на социологический материал, посмотрим, как следует поступать, имея дело со склонностью людей поддаваться внушениям и уступать чужому влиянию. Подобная склонность является естественной человеческой реакцией на окружающий мир; предполагается, что в основе этой реакции лежит психологическая предрасположенность человека вообще. Современная цивилизация создала для человека весьма сложное окружение, в котором ему подчас легко запутаться. Из одной конфликтной ситуации он попадает в другую, и бывает очень непросто отыскать выход из сложного положения, опираясь только на собственные силы. Эти трудности и склоняют человека к тому, чтобы последовать чужому примеру, поддаться чужому влиянию, прислушаться к чужому мнению. Проводимые социальными психологами эксперименты показывают, что не так уж незначителен процент людей, соглашающихся с мнением, которое они при других обсто-

ведомо неверные ответы. Это означает, что даже в безобидных вопросах и в безразличных, т. е. не затрагивающих их реальных интересов, ситуациях значительная часть людей предпочитают присоединяться к мнению большинства, даже в тех случаях, когда это мнение безусловно ошибочно.»

С точки зрения синергетики, такая подверженность чужому влиянию является источником всех коллективных эффектов, возникающих при формировании общественного мнения. При этом совершенно неважно, как именно осуществляется такое влияние, и даже каким образом этот процесс описывается математически. В полном соответствии с универсальными закономерностями, лежащими в основе синергетики, в подобных ситуациях автоматически возникает конкуренция между различными суждениями, в результате которой одно из них оказывается доминирующим и побеждает в конкурентной борьбе.

Особенно ярко эти процессы прослеживаются на примере изменений моды, которая и есть, собственно, не что иное, как выражение общественного мнения. Впрочем, здесь же становится отчетливо различим и тот факт, что при такого рода коллективных эффектах предпочтение в коллективах в конечном счете отдается не объективному, а субъективному направлению. Будут женщины носить короткие или длинные юбки, а мужчины — узкие или широкие брюки, оказывается исключительно вопросом вкуса, а не плодом долгих размышлений — если речь не идет о самих создателях моды, желающих оживить торговлю, чего им, собственно, и удастся достичь, искусно манипулируя в своих целях коллективным поведением людей. Это верно не только в отношении модельеров; в этом же заключается и секрет удачливых политиков: они понимают, как можно использовать в свою пользу подобные коллективные течения. Несколько позднее мы еще вернемся к этому моменту.

Поскольку при формировании общественного мнения действительно имеют место синергетические эффекты, было бы в высшей степени странно, если бы они ускользнули от внимания социологов. В самом деле, тому найдется немало подтверждений как в современной социологической литературе, так и в истории социологии. Понятие «общественное мнение» (*«l'opinion publique»*) впервые обнаруживается, кажется, у Ж.-Ж. Руссо (1712–1778), который говорит об общественном мнении как о выносящей суждения инстанции, неодобрения которой следует всячески избегать. В рамках же современного определения предпочтительнее будет, пожалуй, говорить о «господствующем» или «преобладающем общественном мнении».

Подверженность людей чужому мнению находит яркое выражение нашла в словах Джеймса Мэдисона (1751–1836), отца американской конституции: «Если верно то, что всякая власть и всякое правительство опирается на общественное мнение и благодаря общественному мнению получает признание и доверие, то так же верно и то, что сила убеждений каждого отдельного человека и степень влияния его собственного мнения на его *действительное* поведение, на его поступки, зависят в значительной мере от того, *сколько* людей, по его представлениям, думают так же, как он. Разум человека — и человек вообще — становится труслив и осторожен, если чувствует себя оставленным *в одиночестве*, однако он силен и уверен в себе в той мере, в какой верит в то, что *многие другие люди* думают так же, как он.»

Элизабет Ноэль-Нейман пишет об этой связи так: «Общественная природа человека вынуждает его страшиться обособленности и желать уважения и любви со стороны других людей.» И еще: «Только в том случае, если мы предположим существование в душе человека сильнейшего страха перед изоляцией, нам удастся объяснить то колоссальное влияние, которого — по крайней мере в коллективе — достигают люди, способные (не прибегая при этом к помощи каких бы то ни было средств демоскопии) с большой точностью сказать, какое из суждений окажется поддержано большинством, а какое — меньшинством.» И далее: «Напряжение сил, которого требует от человека соблюдение правил, предписанных внешним миром, оказывается, по-видимому, меньшим злом, нежели опасность внезапно потерять благосклонность окружающих его людей и оказаться в одиночестве.»

Значительно раньше подобную подверженность чужому влиянию Алексис де Токвиль (1805–1859) описывал таким образом: «В демократических сообществах общественное благо необходимо точно так же, как воздух, которым дышат, и не сойтись во мнениях с большинством — это, в определенной степени, означает «не жить». Для усмирения инакомыслящих здесь нет необходимости прибегать к помощи закона — достаточно простого выражения неодобрения. Под тяжестью этого неодобрения инакомыслящие чувствуют себя отверженными и бессильными что-либо сделать, оказываются лишены какой бы то ни было надежды.»

Сама по себе возможность влияния, естественно, ничего не скажет нам поначалу об осуществлении макроскопического упорядоченного состояния — в нашем случае таким макроскопическим состоянием является доминирование в конечном счете одного из имеющихся суждений; это процесс можно описать только математическими методами синергетики.

Подверженность же влиянию имеет следствием эффект подчинения — тот же, что знаком нам по примеру с лазерным светом. Доминирующая там волна — кстати, не без скрытого умысла названная нами модой — в конечном счете побеждает в конкурентной борьбе с волнами какой-либо другой длины, вследствие чего в ее власти оказывается все большее и большее число атомов. Совершенно аналогичным образом происходит и формирование общественного мнения. Все больше и больше людей оказываются под влиянием доминирующего общественного мнения и, в конечном счете, поддерживают его.

Кроме того, Алексис де Токвиль ясно представлял себе механизм действия господствующего в синергетике принципа подчинения. Он отмечал, что демократические сообщества ликвидировали лишь ту власть, которая «безмерно препятствовала или задерживала взлет индивидуального сознания», что они перекрыли тем самым путь к духовной свободе. Когда же «под властью определенных законов» — Токвиль имеет в виду авторитет большинства — «подавляется духовная свобода, . . . зло просто меняет личину, и люди оказываются лишены средств для независимой жизни; они лишь открывают для себя новый род кабалы.»

Еще отчетливее такое положение вещей описал Джеймс Брайс, опубликовавший в 1888 году статью о тирании большинства.

Посему ничуть не удивительно, что конечный результат этого процесса, обозначаемый нами как *«доминирующее суждение»*, другие исследователи непосредственно определяют термином *«общественное мнение»*. Общественное мнение, соответственно, — это «такое мнение в сфере спорных вопросов, которое можно выразить публично, открыто, не занимая при этом какой-либо обособленной позиции». Господствующее общественное мнение и мнение отдельной личности, с точки зрения синергетики, взаимно обуславливают и стабилизируют друг друга.

Механизм смены взглядов

Так каким же образом происходит замена одного суждения другим? Здесь снова оказывается применима аналогия с естественнонаучными феноменами. Нам уже известно, что при увеличении температурного градиента в слое жидкости образуются ячеистые структуры. Будучи перенесено в область социологии, это утверждение звучит следующим образом: изменение в окружающем мире — например изменение экономической ситуации

или усиление внутривластного давления — могут поколебать доверие людей к существовавшим до сих пор идеалам; иными словами, упомянутые изменения дестабилизируют систему. К таким изменениям можно отнести и действия террористов: допустим, попытки подорвать веру в общественный порядок, в правосудие и т. п., предпринимаемые с целью воспользоваться пошатнувшейся в результате этих действий верой для изменения общественных настроений. Именно в такие времена, когда привычный мир рушится, для отдельного человека оказывается особенно важно разобраться в поведении окружающих его людей — ведь если его собственное поведение не совпадет с поведением других, он рискует остаться в одиночестве, попасть в изоляцию. С точки зрения синергетики, смена суждений подготавливается изменением внешних условий. Если же дестабилизация уже произошла, то самым распространенным в обществе мнением очень скоро станет уверенность в необходимости перемен.

Однако очень часто совершенно не ясно, в каком же направлении следует двигаться дальше. Выбор такого направления всегда зависит от тех немногих, кто указывает путь: от отдельной группы людей, авангардистов или активных революционеров, порой даже от отдельной личности, становящейся как бы центром кристаллизации. Как раз здесь возникают флуктуации, уже неоднократно упоминавшиеся в нашей книге. Амплитуда колебаний растет; отдельные непредсказуемые и обладающие, казалось бы, лишь локальным значением события приобретают при подобном неустойчивом состоянии системы такое колоссальное влияние, какого они никогда не получили бы в нормальных обстоятельствах, когда действия подобной группы очень скоро стали бы лишь небольшим эпизодом, память о котором быстро стирается, — т. е. не чем иным, как быстро затухающей флуктуацией.

Средства массовой информации: параметр порядка под гнетом отбора

До сих пор мы исходили из того, что возникновение параметра порядка — а в нашем контексте таким параметром является «доминирующее общественное мнение» — и мнение отдельного гражданина образуют некий замкнутый цикл, подобный тому, что имеет место в лазере, где сами атомы одновременно и генерируют лазерный свет, и оказываются подчинены ему. Хотя эта идея абсолютно верна, она все же нуждается в серьезном дополнении. Общественное мнение, по сути дела, формируется не только в

процессе непосредственного общения людей друг с другом, но и благодаря средствам массовой информации. Было бы наивно и ошибочно — а кое-кто, по всей видимости, впадает в такое заблуждение — говорить о том, что средства массовой информации суть не что иное, как отражение общественного мнения. Отнюдь! Средства массовой информации обладают собственной динамикой, тесно связанной с основными принципами синергетики.

Французский писатель девятнадцатого века Ги де Мопассан (1850–1893) в своих романах описывал не только пикантные и забавные приключения; он был еще и внимательным и критичным наблюдателем, тонко чувствовавшим свое время. В романе «Милый друг» Мопассан, который и сам некоторое время работал журналистом, описывает издателя, оценивающего новости, попадающие к нему на редакторский стол, словно товар. Здесь мы вновь встречаемся с рядом уже известных нам по предыдущим главам принципов синергетики, только теперь они предстают перед нами в несколько ином виде. Во-первых, это проблема ограниченных возможностей. Газета не может вместить в себя все; она вынуждена ограничиваться вполне определенным объемом, иначе цена ее слишком возрастет. Кроме того, сами читатели располагают лишь некоторым ограниченным временем: социологи обнаружили, что время это составляет в среднем около пятнадцати минут в день. Следовательно, из огромного количества оказывающегося в распоряжении журналистов материала они должны производить определенную выборку. Какие же критерии при этом используются? Естественно, таких критериев оказывается несколько. Мы с вами рассмотрим лишь те, что представляются, с точки зрения синергетики, наиболее убедительными.

Газеты, журналы и другие периодические издания существуют только благодаря тому, что их покупают; иными словами, они, в определенном смысле, живут за счет своих покупателей-читателей. Однако и количество читателей, в свою очередь, тоже ограничено. Все эти ограничения, разумеется, ведут к конкуренции, а значит, и к необходимости отбора. Каждая газета и каждый журнал вынуждены производить отбор материалов под давлением конкуренции с одной стороны, и ограниченности объема — с другой, и делать это таким образом, который даст изданию наилучшие шансы для продолжения деятельности. Получается, что газеты и журналы играют как бы двойную роль, один из аспектов которой заключается в том, что они сами выступают как параметры порядка, будучи в состоянии путем публичного выражения различных суждений влиять на суждения своих читателей. При этом сами читатели нередко воспринимают такое влияние как нечто тягостное и гнетущее.

Вот что пишет об этом Элизабет Ноэль-Нейман: «Средства массовой информации — это воплощение общественности, вездесущей, безымянной, неуловимой и не поддающейся влиянию.» И далее: «Средства массовой информации — это односторонняя, непрямая, общественная коммуникация, противостоящая естественнейшему человеческому общению, разговору. В этом и заключена причина появления у отдельной личности чувства бессилия перед лицом средств массовой информации; во всех опросах, проводимых для выяснения того, кто же в сегодняшнем обществе обладает наибольшим влиянием, средства массовой информации оказываются, как правило, в начале списка.»

Упомянутое чувство бессилия может быть вызвано различными обстоятельствами. Во-первых, человек может оказаться лишен возможности изложить свое мнение через средства массовой информации. Во-вторых, средства массовой информации могут, так сказать, выставить человека к позорному столбу, лишив его при этом средств, позволивших бы ему каким-либо образом защитить себя. Возбужденный против той или иной газеты или журнала судебный процесс только расширит их известность, повысит тиражи и, тем самым, лишь пойдет на пользу — даже в том случае, если в результате процесса они что-либо потеряют.

Другой аспект уже упомянутой двойной роли средств массовой информации заключается в следующем: хотя отдельная личность оказывается перед лицом средств массовой информации, как бы неприятно это ни звучало, совершенно беспомощной, средствам массовой информации также не гарантирована полная безопасность, ведь они зависят от коллективного поведения своих читателей. Невозможно, к примеру, представить себе, что какой-либо газете, лишенной экономической поддержки извне, удастся хоть сколько-нибудь долгое время «оставаться в живых», если она постоянно будет выступать с суждениями, противоречащими взглядам ее читателей.

Разумеется, все это верно с некоторыми оговорками. Содержание газет и журналов вовсе не ограничивается одними лишь политическими материалами. (И даже в изданиях, достаточно полно освещающих политическую жизнь, таким материалам может быть отведено далеко не первое место.) Именно для того, чтобы как-то оградить себя от переменчивых настроений читающей публики, средства массовой информации чаще всего встают на путь генерализации, т. е. предлагают своим читателям широкий спектр материалов из различных областей жизни: политической, экономической, культурной и т. д. Именно такой подход служит источником стабильности прессы, сообщая своим читателям разнообразные местные новости,

зачастую весьма незначительные — например уведомляющие о следующем вывозе мусора или сообщающие о проведении каких-то мероприятий. С другой стороны, такого рода новостные сообщения могут быть опубликованы не только одной газетой, ведь в них нет ничего особенного, специфичного; это означает, что публикация местных новостей не исключает возможности местной же конкурентной борьбы. В действительности, в небольших городках очень часто выходит одна-единственная газета; в районах же, прилегающих к большим городам, мы имеем те или иные общерегиональные новостные программы, выпускаемые «центральной редакцией» какой-либо городской газеты, и ряд отдельных газет, занятых освещением одних только местных новостей.

Нельзя не признать, что при подобном положении дел конкурентной борьбы суждений между различными изданиями больше не существует, а монополия принадлежит завоевавшей ее центральной прессе. Подобная монополия едва ли может быть нарушена и экономически, в результате изменения коллективного поведения читателей, так как они все равно не смогут — или не захотят — отказаться от местных новостей. При этом вполне вероятно, что посредством уже неоднократно обсуждавшегося механизма обратной связи в процессе развития существующих на данный момент газет будут постоянно усиливаться некоторые поначалу не особенно ярко выраженные предпочтительные тенденции. Социологам, возможно, весьма интересно было бы выяснить, не связаны ли с такого рода механизмами результаты выборов в Германии, столь очевидно демонстрирующие деление страны на северную и южную части.

Каким же образом рядовой гражданин может избежать подобного подчинения (или порабощения), представляющегося почти неизбежным? Принимая в расчет собственную подверженность чужим влияниям, подчинения ему удастся избежать только в том случае, если он позволит внешним влияниям как бы нейтрализовать друг друга: так человек, окруженный толпой, остается стоять на месте, если его пихают и давят одновременно со всех сторон. То же может произойти и с представлениями, формирующимися в процессе чтения периодики: надо лишь читать не только местные, но и центральные газеты, а по возможности — и зарубежные издания различной направленности.

Сказанное, естественно, не означает, что человек должен подписаться одновременно на двадцать газет. Вполне достаточно время от времени внимательно прочитывать ту или другую газету; со многими, возможно, произойдет то же, что происходит со мной самим во время зарубежных

поездок: в других странах проблемы Германии видятся в совершенно ином, новом для нас свете.

Впрочем, газеты — и само собой разумеется, журналы — могут обеспечить себе существование не только с помощью описанного выше способа, т. е. генерализации, но и посредством специализации. Специализированные издания обращены к совершенно определенной читательской аудитории. Так, скажем, существуют газеты, чтение которых доставляет подлинное интеллектуальное наслаждение, в то время как содержание других донельзя претенциозно и представляет собой попытку удовлетворить духовные запросы своих читателей напыщенной болтовней.

Вопрос о том, будут читать какую-то газету или нет, решается не только содержанием, но еще и ценой — по крайней мере, до некоторой степени. И здесь вновь вступает в игру эффект, ведущий к росту популярности некоторых газет и даже к предпочтению единственной газеты. Допустим, если какую-то газету покупает большее количество людей, то по экономическим причинам, которые вполне очевидны, цена этой газеты может быть снижена, в результате чего ее будут покупать еще охотнее; так процесс может продолжаться до тех пор, пока эта газета не окажется единственным победителем в конкурентной борьбе. Даже просто соглашаясь в общем и целом с политической ориентацией такой газеты, читатели тем самым автоматически оказываются во власти идей, которые сочтет нужным продиктовать им издатель-монополист. Если же читателям заблагорассудится упорствовать, придерживаясь своего собственного мнения (что ни в коем случае не является неизменным признаком высокого интеллекта — равно как и способность изменять мнение еще не означает бесхарактерности), то ведь газета и сама может со временем изменить «характер» публикаций, и мы, возможно, снова окажемся незаметно подчинены ему.

Не следует забывать, что формирование какого-либо суждения или вхождение одной из газет в роль доминирующего издания — это акты, зачастую имеющие огромную временную протяженность, так что мы, спустя годы, оказываемся уже не в состоянии вспомнить, каким же образом возникло предпочтение, отдаваемое нами некоторым идеям и суждениям, или — выражаясь более прямо — что положило начало существующей монополии. То же относится и к политическим системам, представляющим собой не что иное, как определенную манифестацию или отлитое в государственную форму общественное мнение. В отдельных крайних — но, к сожалению, совершенно реальных — случаях возникает такая ситуация: страна незаметно, шаг за шагом сползает в болото, а отдельные граждане, пытающиеся выйти

из общей колонны, все же гибнут вместе со всеми, будучи не в состоянии вырваться из рук соседей по колонне; тонут в конце концов все. Несомненно, вопрос о «коллективной вине» в этом аспекте выглядит уже совершенно иначе, нежели раньше. Собственно, никто и не стремится к такой «конечной цели», однако все вместе — друг за другом — соскальзывают именно в этом направлении. Позднее, в главе, посвященной диктатурам, мы снова столкнемся с этим вопросом.

Уменьшение мира

Вернемся еще раз к вопросу о формировании суждений, опираясь на понятие «параметр порядка». В естественнонаучной сфере мы наблюдали, как отчетливо проявляют себя параметры порядка, которые можно описать всего несколькими словами — например «доминирующая длина волны в лазере» или «гексагональная ячеистая структура». Благодаря процессам усиления Природе удается в конечном счете создать совершенно четкие структуры, и в основе всего этого лежит конкуренция и отбор среди различных возможных упорядоченных состояний. Обоснование для аналогичного поведения при формировании не менее выразительных структурных образований в сфере духа мы можем отыскать при помощи исследований, проведенных американским журналистом Уолтером Липманом. Существует две вещи, особенно благоприятствующие появлению параметра порядка, т. е. единого мнения или единой точки зрения. Во-первых, это ограниченность ресурсов: существует ограниченное количество сообщений, которые вообще могут быть опубликованы. Такая ограниченность неизбежно приводит к значительному снижению присущей реальности сложности до уровня некоего вымышленного мира, о чем очень ярко писал Никлас Луман. Уолтер Липман выразил это таким образом: «Каждая газета, достигшая читателя, является результатом целой серии отборов». Липман отмечает, что именно так и создается для читателей «картина окружающего мира» или, как мы можем теперь сказать, вымышленного мира — такого мира, в котором, по сути дела, существуют только те люди, события и явления, статьи о которых публикуют газеты.

Таким образом, возникает упрощенная картина мира, представляющаяся нам, однако, совершенно реальной. Итак, первая из причин, благоприятствующих возникновению параметра порядка, обусловлена естественной необходимостью выбора. Другая причина заключается в том, что в духов-

ной сфере избранные темы могут быть охвачены ничуть не менее полно и выразительно, чем в уже встречавшихся нам естественнонаучных примерах параметров порядка. Это происходит посредством ключевых слов, или — воспользуемся термином Уолтера Липмана — *стереотипов*. Понятие «стереотип» позаимствовано из типографской терминологии, где оно обозначает отлитый в твердую форму текст, который затем различными способами может быть размножен. Стереотипы, таким образом, это ключевые слова, используемые с целью представить определенное положение вещей. Часто с этим оказывается одновременно связана и какая-то идея или представление. Например, существует так называемый «запрет на профессию», т. е. выносимое судом определение о запрещении заниматься определенной профессией. Этот стереотип подобен запущенной в обращение монете, при помощи многократного использования которой в конце концов и насаждается определенное мнение относительно конкуренции. Уолтер Липман говорил об этом так: «Но тот, кто захватит в свое распоряжение символы, мгновенно овладевающие общественными настроениями, проложит себе путь в большую политику.»

Конкуренции между различными параметрами порядка, подобной той, что мы снова и снова наблюдали на примерах из естественных наук, в социологической сфере не избежали и ученые. В качестве примера приведем цитату из написанного Элизабет Ноэль-Нейман: «Внимание читателя не безгранично; различные личности и темы должны пробиваться к нему невзирая на конкуренцию. Псевдокризисы и псевдоновости создаются средствами массовой информации для того, чтобы одержать верх в борьбе с конкурентами.»

Однако благодаря методам синергетики нам теперь известны общие закономерности, лежащие в основе всех этих процессов. Формирование суждений или отбор публикаций подчинены закономерностям, необходимым следствием которых является колоссальное сокращение количества суждений до единственного или нескольких; знание же этих закономерностей позволяет нам со своей стороны управлять подобными процессами — именно так, как это уже было описано выше.

Здесь все же следует остановиться еще на одном пункте, не имеющем, правда, никаких аналогов с процессами, изучаемыми физикой или химией, но сопоставимом с явлениями живой природы, носящими эволюционный характер. Мы живем в непрерывно меняющемся мире. Постоянно происходит одновременное рождение новых идей и смерть идей прежних. Перед нами головокружительная картина бесконечных изменений, характеризую-

мая собственной динамикой, что и находит свое отражение в прессе. В этой связи хочется остановиться на нескольких социологических моментах.

Допустим, пресса поднимает новую тему, запуская тем самым процесс формирования общественного мнения. Согласно Никласу Луману, для этого необходимо найти нужные слова и формулировки. Наконец тема готова к обсуждению, причем синергетические процессы снова играют здесь ведущую роль. Тема предлагается читателям самыми различными по направленности изданиями. Спустя какое-то время аудитория прессыщается, и тема «выдыхается» — это жаргонное словечко используют для обозначения «смерти» темы сами журналисты. Интересно, однако, утверждение американских исследователей, изучавших вопрос о том, что первично во времени: возникновение некоего суждения или представления среди населения, либо публичное обсуждение этой темы в средствах массовой информации; было обнаружено, что тематические публикации в прессе, как правило, появляются раньше, чем происходит действительное развитие этой темы в умах масс.

Выше уже говорилось об основных идеях, касающихся взаимовлияний. В частности, следует четко осознать и тот факт, что средства массовой информации никоим образом не являются абсолютными диктаторами; они лишь озабочены проблемами собственного выживания. Здесь царит обычное движение, отчетливо проявляющееся, с одной стороны, в основании новых журналов или издательств и в их дальнейшем объединении, либо в их исчезновении — с другой.

Власть телевидения

Из всего сказанного выше становится ясно, что в случае с телевидением действуют иные механизмы, и в особенности это относится к государственному вещанию, потому что здесь отсутствует не только непосредственная обратная связь производителей телепродукции с реакцией на нее потребителей, имевшая бы отношение не просто к экономическому уровню существования телевидения, но к существованию его как таковому. С другой стороны, телевидение в той же мере, что и пресса, подчинено неким принудительным условиям существования, определяемым ограниченностью ресурсов, — в данном случае речь идет об ограниченности эфирного времени, не позволяющей, к примеру, представить вниманию зрителей речи всех политиков без каких бы то ни было сокращений. Здесь мы вновь сталкиваемся

с необходимой редукцией, т. е. выпуском в эфир предварительно отобранных моментов того или иного выступления; такого рода ограничение требует предварительного формирования определенного «привилегированного суждения» — так сказать, критерия отбора материала, — причем останется неясным, кто именно ответственен за формирование этого самого критерия, ответственный редактор или кто-то еще. Если же принять во внимание и склонность зрителей поддаваться внушению, то перед нами встанут новые и весьма интересные вопросы, всю полноту которых синергетике еще только предстоит выяснить. Предположим, к примеру, что все попавшие в эфир суждения в достаточной мере совпадают с соответствующим распределением различных суждений среди населения; при таких условиях в общем случае, согласно основным законам синергетики, следует ожидать, что в конце концов одно из суждений окажется доминирующим и через некоторое время вытеснит из эфира все остальные, — если только оно не будет противоречить окружающему миру каким-то уж очень явным образом. С другой стороны, если все попавшие в эфир суждения окажутся равными по силе, картина вновь будет искажена. Крайние группы суждений сохранят при этом избыточный вес и поспособствуют притоку внимания, который может оказаться нежелательным.

Возможно, выход из этой дилеммы таков: смириться с тем, что спустя некоторое время одно доминирующее суждение сменяется другим, причем в соответствии с духом свободы слова следует позаботиться только о том, чтобы в этом процессе не происходило никаких остановок.

Правительство и общественное мнение

Как нам уже известно из синергетики, параметр порядка исполняет двойную роль, или, иначе говоря, обладает двумя функциями. С одной стороны, он подчиняет себе элементы системы, а с другой — те же элементы поддерживают его в неизменном виде. Мы убедились в том, что параметр порядка «общественное мнение» подчинен тому же принципу; далее, однако, выяснилось, что он выполняет и другие функции, оказывая влияние не только на формирование суждений населения страны, но и воздействуя на правительство. В качестве иллюстрации к этому утверждению процитируем жившего в восемнадцатом веке философа Дэвида Юма: «Тем, кто занимается политической философией, ничто не кажется столь удивительным, как та легкость, с которой *немногие* правят *многими*, и та готовность,

с которой люди подчиняют свои собственные чувства и желания чувствам и желаниям правительства. Если мы попытаемся проанализировать, каким образом осуществляется подобное чудо, то обнаружим, что правление . . . опирается не на что иное, как на общественное мнение, на общее согласие. Правительства только на них и основываются; и это в равной мере касается и деспотических или военных правительств, и самых свободомыслящих и популярных.»

Наиболее очевидно влияние общественного мнения на правительство проявляется в процессе выборов в демократических странах. Здесь мы можем наблюдать столь необычное явление, что поначалу может показаться, будто оно противоречит всему вышесказанному. Во многих странах во время выборов складывается, так сказать, патовая ситуация: приблизительно одно и то же количество избирателей голосуют «за» и «против» правительства либо соответствующей коалиции. Представляется интересным рассмотреть эту ситуацию подробнее с тем, чтобы выяснить возможные причины такого распределения голосов и разобраться, имеет ли здесь место уже встречавшийся нам в рамках синергетики феномен — речь идет о возможности существования различных ответов на один и тот же вопрос, или, выражаясь точнее, о различных решениях одной и той же проблемы.

Поведение партий часто напоминает поведение продавцов мороженого, которым был посвящен пример в главе об экономике. Партии находятся в состоянии непрерывной конкурентной борьбы, причем порой на кону может стоять сам факт продолжения существования той или иной партии, тогда как в других случаях речь идет лишь о борьбе за власть. Давайте представим себе, что одна из партий вознамерилась внедрить свои идеалы в сознание избирателей. При этом очень быстро обнаруживается, что для достижения своей цели эта партия сначала должна прийти к власти, а для этого, естественно, ей необходимо иметь на своей стороне определенное количество избирателей. Свою предвыборную кампанию такая партия строит на «переманивании» избирателей на свою сторону.

Это соответствует поведению продавца, постепенно передвигающегося со своим мороженым все ближе и ближе к границе между участками; так продолжается до тех пор, пока наконец не будет занята позиция, которая — по крайней мере, внешне, с точки зрения покупателя, — ничем не отличается от позиции, занимаемой конкурентом (во всяком случае, до покупки мороженого). Только если бедняга покупатель вынужден был в течение четырех лет есть одно и то же мороженое, он, возможно, почувствует, в чем

состоит отличие между двумя стоящими теперь рядом продавцами и их товаром. Это внешнее уравнивание, проявляющееся уже в том, что разные партии часто используют в своих лозунгах одни и те же слова — такие, например, как «мир», «свобода» или «справедливость», — и позволяет понять, что определить критерии выбора в действительности очень и очень сложно. Сюда же следует отнести и то обстоятельство, что для решения определенных экономических или общественных проблем различные партии порой предлагают пусть и различные, однако по объективным оценкам вполне равноценные пути; при этом предложения одной из групп оказываются встречены, так сказать, в штыки, тогда как предложения другой группы получают всемерную поддержку.

По перечисленным здесь причинам (а возможно, и по многим другим) синергетическая кривая, или кривая «синергетических затрат», с которой мы уже неоднократно имели дело, содержит такое большое количество локальных предпочтительных позиций: одна группа видит преимущества в том, другая — в этом. Таким образом, получаем уже знакомое нам по другим примерам симметричное положение; известно нам и то, что происходит дальше. Даже совсем небольшие флуктуации или, в случае с политикой, небольшие группы или партии могут вызвать отклонение от начального состояния и нарушить симметрию. Если же одна из конфигураций, помимо всего прочего, постоянно сохраняет перевес, то в результате нарушения симметрии вполне может возникнуть — а затем еще более усилиться — сокращение числа отличных друг от друга позиций.

В этом, вероятно, и заключается характерная черта демократии: она — по крайней мере принципиально — несет в себе возможность для всех желающих проявить себя. В этом отношении демократия обладает гораздо большей симметрией, нежели диктатура, причем большая симметрия здесь означает, что при демократии существует чрезвычайно широкий спектр взглядов и возможностей для раскрытия личности; иными словами, демократия в состоянии гарантировать плюралистическое общество. С этим связана одновременно и более высокая приспособляемость демократии к изменениям, происходящим в окружающем мире — например к изменению экономических условий. Способность к такого рода реагированию существует изначально, но до поры пребывает, так сказать, в латентном состоянии, активизируясь и усиливаясь в нужной степени при возникновении новых ситуаций. При этом, однако, далеко не всегда достигается *равновесное состояние*, о чем нам уже известно из предшествующих рассмотрений экономических процессов.

Вообще же демократия, по всей видимости, характеризуется тем, что хотя здесь в принципе и существует параметр порядка, структуризация и самоуправление являются результатом действий отдельных граждан или групп. Таким образом, демократический порядок — это вовсе не тот порядок, что царит на кладбище; это порядок в высшем смысле слова — порядок, гарантирующий свободу личности и связанный с нею плюрализм мнений.

В настоящей главе в центре нашего внимания находится феномен, называемый «общественное мнение». Мы рассмотрели процесс возникновения общественного мнения и то, каким образом оно может влиять на поведение не только отдельной личности, но и целых правительств. Теперь обратимся к вопросу о том, насколько правомочны рассуждения об общественном мнении в условиях диктатуры.

Диктатура

Людям, живущим в условиях диктатуры, известно о существовании специфического феномена, который может быть обозначен как «атмосфера двойной морали», или «двоемыслие». Подобное явление, впрочем, можно наблюдать и в таком демократическом государстве, как Германия; оно было должным образом исследовано и описано Элизабет Ноэль-Нейман. В условиях же диктатуры термин «атмосфера двоемыслия» имеет следующий смысл.

Контролируемые правительством средства массовой информации высказывают некоторые единообразные суждения, подкрепляемые соответствующим образом отобранными сообщениями. Наряду с этим официальным мнением существует и иное мнение — вне всякого сомнения частное, однако в определенном смысле не менее единое, а потому обозначаемое нами как общественное. Такая частная позиция, в значительно степени отклоняющаяся от позиции официальной, проявляется в словах, произносимых шепотом, и ярче всего — в политических остротах. Меры, принимаемые тоталитарными правительствами против распространения подобных неофициальных и все же ценимых обществом идей и суждений, ясно показывают, что прямые контакты между людьми — непосредственное общение — могут вызвать умонастроения, способные стать серьезной угрозой правительству или правящему классу. Здесь следует упомянуть и о том, что в государствах подобного типа запрещено либо затрудняется искусственно создаваемыми помехами прослушивание зарубежных радиопередач, строго

регулируется всяческая деятельность, связанная с размножением печатной продукции (например копирование с помощью ксерокопировального аппарата), регистрируются все типографии и осуществляется непрерывный контроль за их деятельностью. Все это снова указывает нам на то, что правительство в данном случае усматривает в существовании множества различных воззрений определенную для себя опасность. Однако нам также известно, что наличие в таких государствах тайной полиции и практика доносительства приводят ко всеобщему страху перед публичными критическими высказываниями в адрес режима. Любое выражение собственного мнения, таким образом, подавляется посредством запугивания. И все же, несмотря на это, взрывы общественного недовольства удается пресечь далеко не всегда, и поэтому диктаторы создают своего рода клапаны, позволяющие населению «выпускать пар». «Перенаправленный» таким образом праведный народный гнев часто выражается в преследовании расовых, религиозных или других меньшинств, т. е. групп людей, не попадающих под определение «нормы».

Для большинства живущих в демократических странах граждан остается совершенно непонятным, почему же диктатуры так стабильны. Исследование коллективных эффектов дает синергетике ответ и на этот вопрос. Ответ заключается в эффекте самостабилизации, присущем большим системам. Для того чтобы разрушить существующий в системе порядок, из так называемого упорядоченного состояния должны *одновременно* высвободиться все или очень большая часть граждан. Но поскольку диктатуры очень жестко ограничивают связи между отдельными гражданами и контролируют средства коммуникации, возможны становятся лишь независимые друг от друга попытки проявления общественного недовольства, обреченные на провал вследствие разобщенности членов общества: кто-то именно в этот момент держится за старый режим, а кто-то борется против него — но совершенно иными средствами, препятствуя тем самым действиям своих, на первый взгляд, единомышленников.

Предпосылками для переворота или революции не являются ни ослабление правительственного давления, в результате чего упрощается процесс обмена мнениями, ни создание сети подпольных организаций. Для решения последней проблемы диктаторы располагают обширным арсеналом эффективных средств — неплохо помогает, например, внедрение в такие организации своих агентов-провокаторов, проникающих в подпольную группу под видом активного борца с режимом, а затем сдающего всех членов подполья в лапы полиции.

И все-таки даже в таких странах возможны недвусмысленные проявления общественного мнения, хотя они и не влекут за собой никаких немедленных последствий. Однажды в одной из таких стран я сел в самолет, и мне довелось стать свидетелем интересного инцидента. Стюардесса раздавала в салоне самолета газеты; пассажиры, получившие эти газеты, сразу же открывали их на последней странице. Сначала я думал, что там, должно быть, опубликовано что-то особенно актуальное, но вскоре обнаружил, что последняя страница посвящена спортивным событиям. Мне сложно представить себе поведение, более неуловимо и в то же время более явственно отвергающее режим⁴.

Общественное мнение и проблемы меньшинств

Мы снова и снова убеждаемся в том, что под влиянием процессов отбора, сопутствующих многим природным и общественным явлениям, проявляется все более выраженная тенденция к объединению групп (например групп единомышленников). Эта тенденция может привести к бойкоту или преследованию инакомыслящих, особенно в тех случаях, когда такие группы отличаются от общей массы какими-либо внешними признаками (скажем, расовыми) или религиозной принадлежностью. Далеко не во всех странах описываемые группы людей могут рассчитывать на поддержку и защиту государства. Для того чтобы выжить, они оказываются вынуждены ассимилироваться, т. е. повести себя таким образом, который позволит им как можно меньше отличаться от большинства. Однако существует и другой путь: меньшинства, побуждаемые к тому давлением большинства, достигают таких успехов в различных сферах деятельности, что добиваются всеобщего уважения и тем самым обеспечивают собственное существование более твердыми гарантиями.

Социальное поведение таких групп также в значительной мере сходится с поведением большинства, и определяется это специфичное поведение именно необходимостью выживания группы. Меньшинство может выжить только благодаря кооперации, в то время как поведение большинства продиктовано, прежде всего, восприятием окружающих в качестве конкурентов; такое мировоззрение прекрасно иллюстрируют слова Руссо

⁴Собственно, случай этот произошел со мной в Польше, однако совершенно аналогично обстоят дела и в других странах восточного блока. Между прочим, один из моих коллег рассказывал мне, что именно высказывания, подобные вышеприведенному, и явились одной из причин запрета этой книги в тогдашней ГДР.

из книги, сделавшей его в 1755 году знаменитым. Книга эта называется «Рассуждение о происхождении и причинах неравенства среди людей», и в ней Руссо утверждает следующее: «Мне хотелось бы показать, насколько сильно снедающее всех нас, всепоглощающее человеческое стремление к славе, почестям и отличиям развивает наши силы и таланты и принуждает нас состязаться друг с другом, насколько сильно оно возбуждает и умножает страсти, насколько велика его роль в том, что люди становятся конкурентами, соперниками или — что будет вернее — врагами.»

Революции

Революции — а в переводе с французского это слово означает «перевороты» — всегда глубоко воздействуют на жизнь каждого гражданина. Говоря на языке синергетики, при переворотах происходит осязаемое изменение состояния системы на макроскопическом уровне. Мы уже неоднократно рассматривали подобные изменения в ходе физических, химических и биологических процессов, и всякий раз сталкивались при этом с фактом их необыкновенного сходства друг с другом. Факт этот позволяет нам предположить, что применение методов синергетики возможно и при исследовании революций в политическом или социологическом ракурсе. Революции в этом смысле суть не что иное, как фазовые переходы, подобные тем, что наблюдаются при переходе магнита от немагнитного к намагниченному состоянию или от неупорядоченного света лампы к упорядоченному излучению лазера. Конечно, при этом нам следует остерегаться поспешно проведенных параллелей, особенно там, где вопрос касается интерпретации в рамках социологии понятия «упорядоченное состояние». В связи с тем, что поступив подобным образом, мы очень скоро столкнулись бы с совершенно явными противоречиями, понятие «упорядоченное состояние» будет использовано нами лишь в самом общем смысле для обозначения некоей формы государственности, причем различные формы будут соответствовать различным же фазам.

Поведение членов человеческого сообщества может быть различным в зависимости от той формы государственности, в рамках которой это общество существует; зависимость эта совершенно аналогична той, что мы наблюдаем в неживой природе: жидкое или твердое агрегатное состояние воды зависит от взаимосвязей между отдельными молекулами, которые и определяют, в конечном счете, ее макроскопическое состояние в виде жид-

кой воды или твердого льда. Аналогично тому, как в неживой природе существуют переходы между различными упорядоченными состояниями (например, двухфазные — между твердым и жидким состояниями), революции также могут быть различными. Возможен, скажем, переворот, ведущий к замене монархии демократией, — именно такой была Великая французская революция; но возможны и перевороты, при которых на смену демократии приходит диктатура, как это произошло при захвате власти Гитлером. Существуют перевороты, ведущие от одной диктатуры к другой; в качестве примера такого переворота можно назвать переход России от царской диктатуры к диктатуре сталинской.

Кажется, в наши дни переход от диктатуры к демократии стал событием редкостным — куда более редким, нежели переходы от диктатур к другим формам правления. Однако именно такой редкий (а потому — счастливый) случай перехода страны от диктатуры к демократии мы можем наблюдать на примере бывшего СССР; остается надеяться, что новое состояние системы окажется стабильным — хотя, принимая во внимание трудности экономического характера, существующие в России, полной уверенности в этом, конечно, нет ни у кого. В данном случае, по всей видимости, стране срочно необходима разумная экономическая поддержка извне. В нашем перечне явно недостает еще одного перехода — от демократии к демократии; но демократии в принципе присуща способность сохранять свой характер, даже при смене правящих партий.

Какие же механизмы определяют ход революций? Сегодня мы уже в состоянии не только описать эти механизмы с точки зрения синергетики, но и подкрепить такое описание как математическими моделями, так и наблюдениями историков. По-видимому, революциям всегда предшествует фаза дестабилизации, характерной чертой которой является отсутствие желания (или даже прямой отказ) широких масс граждан сотрудничать с существующей системой. Добавим в эту картину — и этот момент можно считать ключевым — еще один нюанс: подверженность людей внешним влияниям и одновременное существование такого рода влияний. Как показывают математические расчеты, негативное отношение к правящей системе в подобной ситуации лавинообразно усиливается, и этот процесс ускоряется еще и за счет того, что приверженцы господствующей системы — отчасти умышленно, отчасти непреднамеренно — все более замыкаются в себе, придерживаясь политики замалчивания, в результате чего система теряет и их поддержку. Такое положение вещей нашло свое выражение в понятии «спираль молчания», предложенном Э. Ноэль-Нейман. Явление, определяемое

этим понятием, прежде уже наблюдалось и описывалось: стоит упомянуть хотя бы изданную Алексисом де Токвилем в 1856 году книгу, посвященную истории Французской революции; автор описывает закат могущества французской церкви в середине восемнадцатого века следующим образом: «Люди, еще не утратившие прежней веры, боялись оказаться единственными, сохранившими ей верность; страшась изоляции сильнее, чем заблуждения, они присоединялись к большинству, не перенимая при этом веры большинства. То, что было [пока] воззрением лишь части нации, казалось, таким образом, общим мировоззрением, а потому оказывало непреодолимое давление и на тех, кто лишь создавал видимость отказа от прежней веры.»

В этом случае мы имеем дело с эффектом усиления, который, однако, становится еще отчетливее тогда, когда большинство приверженцев старой системы внутренне уже отступят от своих прежних убеждений.

В чем же заключаются причины такого рода дестабилизации? Дестабилизация может быть вызвана и полным обнищанием народа в результате долгой войны (таковы были, к примеру, крестьянские войны), или духовной закрепощенности, или высокого уровня безработицы, или непомерного груза налогов — такое видение будущего не так уж и фантастично сегодня. Вместе с тем, как уже упоминалось, отдельные небольшие группы осуществляли попытки добиться дестабилизации путем террористических актов, предназначенных для того, чтобы запугать рядовых граждан и подорвать их веру в силу существующего строя. Перед нами вновь спираль: система правосудия поколеблена, и государство больше не поддерживает решений, принимаемых служителями Фемиды, а следовательно, преследование и наказание преступных деяний становится все менее и менее действенным.

Теория фазовых переходов позволяет нам обнаружить в механизме революций многие из эффектов, существующих в природе. Как известно, наблюдаемая при фазовых переходах дестабилизация существующего состояния системы связана с ярко выраженными феноменами колебательного характера. В качестве примера приведем флуктуации плотности, наблюдаемые при испарении воды. Для социологической сферы это может быть выражено учащением различных событий и процессов, не характерных для нормального положения дел, т. е. редко случающихся и не оказывающих длительного воздействия на обстановку в целом. В области политики это может быть резкое учащение террористических актов, массовых беспорядков, вызванных борьбой различных политических группировок, стихийные забастовки с опустошительным для народного хозяйства эффектом, демонстрации или митинги, находящиеся под запретом, согласно принятым и

действующим в данной системе законам. Подобные манифестации являются проявлением рушащегося государственного порядка; заметим, что зачастую — и математические модели подтверждают это положение — здесь совершенно отсутствует даже малейший намек на тот путь, которым система придет в новое состояние, т. е. на то, какую именно форму в дальнейшем примет государственность. Примером из новейшей истории может послужить свержение шаха; за его вынужденным отречением от престола последовала острая конкурентная борьба между различными политическими движениями. Рассматривая этот процесс с позиций синергетики, можно описать происходящее следующим образом: отдельная активная группа может сыграть в выборе направления дальнейшего развития страны решающую роль, т. е. в синергетическом смысле революция представляет собой не что иное, как состояние неустойчивости, за которым следует то или иное нарушение симметрии. В качестве коллективного эффекта во время массовых демонстраций особенно четко прослеживается взаимное разжигание людьми друг у друга стремления к разрушению. Толпа приходит в состояние коллективного возбуждения, результатом чего и оказывается непреодолимое желание каких-либо активных действий; люди начинают крушить витрины, поджигать автомобили или — как это случилось во время Французской революции — отправляются штурмовать Бастилию. В состоянии коллективного возбуждения способность отдельного человека к логическому мышлению оказывается как будто совершенно отключена. Отдельные личности кажутся в подобных обстоятельствах рабами некоего параметра порядка, который часто может быть воплощен в стихийно возникшем лозунге.

Здесь мы наконец возвращаемся к тому вопросу, который был поставлен в начале главы: предсказуемы ли революции, и возможно ли в данных условиях заранее просчитать подобные процессы? Уже сегодня институты, занимающиеся изучением общественного мнения, по-видимому, в состоянии установить, в какой момент времени становится слишком большим разрыв между представлениями людей о том, как должны обстоять дела, и пониманием того, каковы они в действительности. Не таким уж невероятным выглядит на этом фоне предположение о том, что в один прекрасный день возможным окажется и предсказание столь, казалось бы, внезапных событий, как революции; возможность эту могут дать нам с одной стороны применение методов синергетики, а с другой — дальнейшее совершенствование методов демоскопии.

Правда, мы обязаны ввести еще одно принципиальное ограничение. Не единожды и на самых разных примерах, рассматриваемых синергетикой,

мы имели возможность убедиться в том, что дальнейшее развитие системы из состояния неустойчивости часто нельзя предсказать однозначно. Решающую роль в таких условиях могут сыграть даже самые незначительные флуктуации. Прогнозы могут быть сделаны только относительно вероятности выбора системой того или иного пути развития. Сложность таких прогнозов связана еще и с необходимостью точно просчитывать «ключевые» флуктуации, т. е. момент возникновения подобных революций или народных восстаний.

Такого рода прогнозирование, безусловно, чрезвычайно важно для людей, действительно стремящихся к революции с целью установления новой диктатуры; не возникает сомнений и в том, что подобные методики могут быть использованы крупными державами для вмешательства в политику других стран: сначала господствующая политическая система, будь то демократия или диктатура, должна быть дестабилизирована, а затем группа решительно настроенных революционеров направляет народные массы, пребывающие в состоянии дестабилизации, в избранном новом направлении.

Вероятно, все вышеизложенное для большинства читателей совпадает с их собственными размышлениями и наблюдениями, а потому указание на иную последовательность действий может показаться чем-то вроде ереси. Однако математические модели со всей очевидностью демонстрируют тот факт, что возникновение определенных макроскопических фаз (я стараюсь избежать в данном контексте словосочетания «упорядоченные состояния») является не только неотъемлемым свойством системы в макроскопическом смысле, но по существу еще может быть и свойством отдельных элементов системы. К примеру, можно затратить массу усилий, создавая лазер, генерирующий зеленый свет, который испускали бы атомы, производящие в обычном, нелазерном, состоянии только красный свет. Подобная цель абсолютно недостижима. Аналогичным образом следует относиться и к вопросу о том, не является ли национальный характер фундаментом, располагающим либо препятствующим построению на нем определенных форм государственного правления; здесь, очевидно, открывается широчайшее поле для деятельности ученых, занимающихся социологическими и социально-психологическими исследованиями⁵.

⁵Собственно, изучения достоин уже сам вопрос о том, можно ли вообще говорить о национальном характере. Во время Второй мировой войны американским антропологом Грегори Бейтсоном была опубликована небольшая, однако весьма любопытная работа, посвященная как раз этой проблеме; ученый описывал национальные характеры, используя пары слов-

Еще раз об универсальных принципах

Математическая обработка многочисленных и разнообразных примеров, почерпнутых из естественных наук и социологии, позволяет нам сделать ряд общих выводов, действующих, надо сказать, несколько отрезвляюще. Важнейшими из них являются, по-видимому, следующие.

Именно коллективное действие как таковое, т. е. действие, совершаемое отдельным человеком только и исключительно *потому*, что то же самое делают другие люди, часто может стать причиной возникновения абсолютно разнородных макроскопических состояний (если речь, к примеру, идет о политической сфере, то под макроскопическим состоянием понимается некая форма государственного правления); нельзя при этом исключать и возможность коллективных преступлений. Притеснение, угнетение и даже физическое уничтожение меньшинств, равно как и убийство по другим соображениям, вполне может стать таким государственно-политическим ритуалом. Рассмотрим проблему и с другой стороны. В сфере политики и экономики однозначных решений попросту не существует; напротив, имеется, как правило, ряд равноценных решений. При этом принятие одного из таких решений означает, конечно, переход системы в новое состояние, но ни в коем случае не гарантирует того, что это новое состояние окажется оптимальным. Преимущества и недостатки каждого из возможных решений уравниваются преимуществами и недостатками остальных. Подобное ветвление решений наитеснейшим образом связано со спецификой коллективных действий. Наблюдая за действиями окружающих, каждый из нас должен решать, каким образом будет действовать он сам. Следовательно, возникает вопрос: как можно воспрепятствовать действиям, которые по отдельности можно было бы определить как преступные, и каким образом можно в условиях ветвления решений прийти к какому бы то ни было однозначному решению (пусть и не всегда).

Единственным ответом на этот вопрос, с моей личной точки зрения, является привлечение высших идеалов, т. е. принятие решения исходя из моральных, гуманистических или каких-либо других подобных соображений (скажем, религиозных). Одновременно это означает и отказ от, скажем так, оппортунистических действий, и от надежды на то, что первый кон-

антонимов, обозначающих различные качества: например, властолюбие — покорность. (Читателя, разбирающегося в психиатрии, не удивит, очевидно, тот факт, что Бейтсон известен еще и как отец идеи о «двойной связи» («Double-bind»)).

структивный шаг всегда окажется предпринят кем-то другим — ожидания такого рода, как правило, безосновательны, ведь если человек не делает чего-то сам, он не вправе ожидать, что этим займется кто-то из близких.

В отсутствие же подобных идеалов, направляющих каждого отдельного человека, при коллективных действиях именно вследствие ветвления возможных решений и не удастся зачастую избежать катастрофических ошибок. Каждый человек в конце концов оказывается на таком распутье: должен ли он в борьбе за жизнь и выживание руководствоваться соображениями высшего порядка или ему следует воспринимать себя всего лишь как частицу коллектива?

О бюрократии

Бюрократия — а точнее, постоянный рост бюрократического аппарата — это явление, которое синергетика еще только начинает исследовать. Упомянутый рост, связанный со все более высокими финансовыми затратами, казалось бы, совершенно противоречит обычному представлению об экономических процессах, течение которых характеризуется постоянным стремлением к рационализации и повышению эффективности. Нам предстоит вкратце ознакомиться с несколькими гипотезами, касающимися роста бюрократического аппарата.

В главе, посвященной проблемам экономики, было показано, что основой любого вида деятельности для каждого экономического предприятия является, прежде всего, стремление к получению прибыли, что напрямую связано с выживанием предприятия как такового. Подобная зависимость продолжения существования от получения прибыли в большинстве управленческих структур отсутствует. Поскольку сами они ничего, кроме испанной бумаги, не производят, измерить продуктивность таких структур в масштабах экономической эффективности представляется довольно сложным. Более того, уже само по себе расширение управленческого аппарата — в первую очередь, в сфере государственного управления — сопряжено с увеличением внутренних потерь эффективности, вызванных тем, что в разросшихся органах управления одним и тем же вопросом занимается множество сотрудников, и число взаимодействий между ними возрастает в квадратичной зависимости. Это относится не только к сфере государственного управления; рост управленческого звена в крупных фирмах также порой значительно ослабляет их конкурентоспособность.

Анализ процессов управления свидетельствует о царящем здесь полнейшем пренебрежении основополагающими принципами самоорганизации, столь широко задействованными в процессах природных. Мы наблюдаем здесь движение потока информации как сверху вниз, т.е. от руководства к исполнителям, так и снизу вверх; при научном рассмотрении происходящее выглядит совершенным абсурдом. С одной стороны, действия нижестоящих органов должны все тщательнее регламентироваться сверху, что требует колоссальных затрат времени и энергии, необходимых для составления многочисленных правил и предписаний. При этом, однако, даже самый лучший юрист или менеджер оказывается не в состоянии вникнуть в подробности всех без исключения текущих дел — для этого ему понадобятся, прямо скажем, нечеловеческие способности. Таким образом, действия в строгом соответствии с установленными предписаниями могут привести к нелепым, бессмысленным или даже бесчеловечным решениям. Разумеется, нельзя отрицать и то, что слишком свободные формулировки во многих случаях могут стать причиной актов произвола — например, в юриспруденции, когда один из двух людей, совершивших одинаковые правонарушения, попадает в тюрьму, в то время как другой оказывается полностью оправдан. Вопрос, собственно, сводится к следующему: нельзя ли было бы сэкономить рабочее время и значительно упростить при этом человеческие взаимоотношения, не закрепощая людей излишне строгими правилами и предоставляя им большую свободу действий.

Еще большие затраты связаны с необходимостью жесткого контроля деятельности подчиненных, исключаяющего всякого рода ответственность их самих за результаты собственной работы. Это, естественно, ведет к многократному увеличению затрат труда, так как лица, осуществляющие подобный контроль, повторно совершают ту же самую работу, что была уже проделана исполнителем. Таким образом, реализация жесткого контроля может повлечь за собой даже большие затраты, чем тот ущерб, что могли бы вызвать случайные — а в отдельных случаях даже намеренные — ошибки, допущенные исполнителями.

И последнее: на многочисленных примерах синергетики было доказано, что контролирующие процессы, при которых происходит активное вмешательство в деятельность нижних уровней со стороны уровней верхних, могут приводить к возникновению хаотических состояний, т.е. к возникновению флуктуаций, реальное воздействие которых на текущие процессы оказывается диаметрально противоположным желаемому. Всякий, кто имел

дело с процессами управления, несомненно, признает верность этого утверждения.

При рассмотрении ситуации с позиций синергетики все выглядит относительно просто. Остается, однако, весьма сомнительной возможность отыскать такого бюрократа, который оказался бы готов подобную простоту воспринять.

Рассматривая процессы, происходящие в живой и неживой природе, мы очень скоро приходим к выводу о том, что не следует недооценивать самоорганизацию именно на нижних уровнях⁶; необходимо задать лишь самые общие рамки, а исполнение предоставить «нижним чинам», которые займутся этим, исходя из «местных» условий и используя собственную инициативу. Одновременно такая постановка дела способна значительно сократить объем перемещающейся сверху вниз и обратно документации; как известно, в природе процесс передачи информации протекает иначе, чем в бюрократических структурах: передается отнюдь не весь массив данных, а лишь та его часть, что является в конкретных обстоятельствах релевантной. Допустим, руководитель химического завода ни в коей мере не нуждается в том, чтобы постоянно находиться в курсе всех деталей химических реакций, задействованных в производственном процессе; для него гораздо более важным оказывается, скажем, знание об объемах затрат, связанных с этим производством. Для того чтобы запустить, например, новый производственный процесс, у него имеется штат сотрудников, в работу которых он не может — и не должен — вмешиваться: как именно они будут действовать при введении в дело новых технологий или новых материалов, зависит уже от их профессионализма.

Не стану скрывать: сам я с достаточным скептицизмом отношусь к возможности как-то воспрепятствовать дальнейшему росту бюрократического аппарата. Это возможно, пожалуй, только в случае полного краха всей фирмы или распада целой страны, после чего цикл, несомненно, начнется заново.

⁶Лозунг «больше самоорганизации на нижних уровнях» нашел между тем применение в ряде теорий управления и менеджмента, практикуемых, среди прочих, и многими консультативными фирмами. Предлагается даже заменить вертикальную иерархию горизонтальной, самоорганизующейся структурой. В идеальном варианте это выглядело бы следующим образом: предприятие, все сотрудники которого принадлежат к единственному существующему здесь уровню, создает само для себя некий (абстрактный!) параметр порядка — например, воплощенный в какой-то определенной цели. Как всегда, решение находится как раз где-то посередине и зависит от множества конкретных факторов. (См. библиографический указатель в приложении.)

ГЛАВА 16

О ГАЛЛЮЦИНАЦИЯХ И ТЕОРИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЗГА

Наисложнейшей и в то же время самой удивительной из всех систем, предоставленных в наше распоряжение Природой, является, пожалуй, человеческий мозг. При вскрытии черепной коробки хирург видит перед собой кажущуюся однородной серую массу, пронизанную тончайшими нитями; в действительности же все это — невообразимой сложности сеть, состоящая из нервных клеток.

Во второй половине девятнадцатого века итальянцу Камилло Гольджи удалось окрасить отдельные нервные клетки, сделав их тем самым видимыми. Некоторые из сотен клеток, впитав красящее вещество, приобретали вследствие этого ржаво-красный цвет. На рис. 16.1 представлена схема нервного узла с многочисленными разветвлениями, называемыми за их форму дендритами. Разумеется, для того, чтобы разглядеть реальную клетку, необходим микроскоп: диаметр нервных клеток, или нейронов, составляет всего лишь тысячные доли миллиметра. Человеческий мозг состоит приблизительно из ста миллиардов нейронов; это число сопоставимо с количеством звезд во всем Млечном Пути. Наряду с нейронами в мозге существуют еще и так называемые клетки глии, обеспечивающие нейронам опору, защиту и питание. (Согласно новейшим исследованиям, нейроглии способны также выполнять функции нервов, однако об этом известно пока еще очень мало.) Нервные клетки часто упорядочены в слои; некоторые исследователи считают, что внутри таких слоев и даже между ними существуют колончатые структуры, в которых особым образом «соединенные» клетки образуют некие функциональные единства.

Когда речь идет о «соединении», имеется в виду множество связей между нейронами, пронизывающих мозг, подобно телефонным кабелям или проводам — некоторые из таких кабелей связывают соседние клетки, другие же тянутся дальше, подобно кабелям трансокеанской связи, и служат

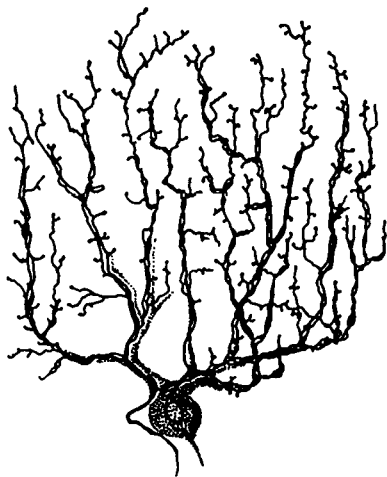


Рис. 16.1. Нервная клетка

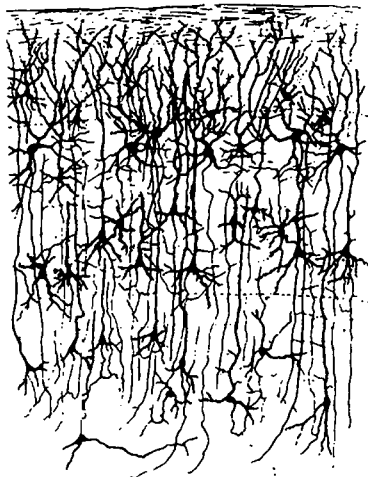


Рис. 16.2. Скопление нервных клеток

для соединения отдаленных друг от друга отделов мозга (рис. 16.2), выполняя функции своего рода телефонной сети и точно так же перенося электрические сигналы. Правда, при этом применяется код, принципиально отличный от азбуки Морзе. Если азбука Морзе основана на чередовании точек и тире, то код, используемый нейронами, включает в себя одни только точки. Для обеспечения передачи информации столь скудными средствами Природа распорядилась так, что «точки» могут выстраиваться в последовательности, передаваемые с различной скоростью. Нейроны же, по всей видимости, способны обрабатывать «входящие» сигналы и передавать их дальше, другим нейронам.

В ходе экспериментов в нейроны вводились тончайшие электроды, при помощи которых ученые могли исследовать электрические процессы, протекающие в отдельных нервных клетках.

«Бабушкины клетки»

В объяснении мыслительных процессов наука пока продвинулась не слишком далеко, но все же было проведено несколько интересных экспериментов, позволяющих сделать выводы о принципах действия по меньшей

мере нескольких отдельных клеток или даже целых областей головного мозга. Так, например, Дэвид Хьюбел и Торстен Визел проводили опыты с шимпанзе, во время которых животным предлагались подвижные и неподвижные объекты в виде световых полос. Через глаза сигнал передавался в мозг шимпанзе, где и попадал в определенную зону, отвечающую за зрительное восприятие. В эту зону исследователями были введены электроды, с помощью которых изучались реакции отдельных нервных клеток на предъявляемые подопытному животному объекты. В ходе эксперимента было сделано удивительное открытие: ученые установили, что каждый раз на определенные внешние раздражители реагируют совершенно определенные клетки. К примеру, существуют клетки, реагирующие не только на саму полосу, но и на пространственную ориентацию этой полосы. Это означает, что, когда шимпанзе показывают полосу, расположенную в пространстве определенным образом, некая клетка отправляет огромное количество кодовых «точек» (или, придерживаясь научной терминологии, «испускает множество нервных импульсов»). Если же полосу развернуть примерно на 90 градусов, данная клетка практически прекращает реагировать на раздражитель (рис. 16.3). Кроме того, были обнаружены клетки, определенным образом реагирующие на движение полос. При этом создавалось впечатление, что нервные клетки ведут себя так, будто они принадлежат какому-то другому, более высокоорганизованному уровню мозга, и способны самостоятельно обрабатывать получаемые от клеток сетчатки сигналы таким образом, что в конце концов соответствующие специфические реакции обнаруживаются уже в самих этих клетках.

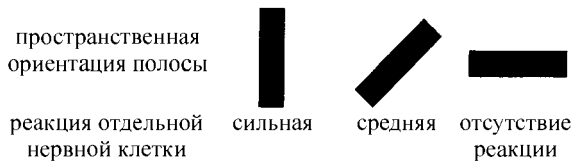


Рис. 16.3. Реакция отдельной нервной клетки на пространственную ориентацию полосы, попадающей в поле зрения подопытного животного

Иными словами, это выглядело так, словно здесь протекает своего рода вычислительный процесс, результат которого и определяет реакцию клетки на раздражение: на словах такой результат соответствует высказыванию

типа «полоса расположена вертикально» или «полоса расположена горизонтально».

Эти данные могут подкрепить одну выдвигающуюся ранее гипотезу о функционировании мозга, объясняющую, как именно мозг осуществляет распознавание образов. Согласно этой соблазнительной гипотезе, в мозге существуют некие особые клетки, которые способны распознавать не только полосы как таковые, но и, к примеру, целые лица. В специальной литературе эти гипотетические клетки шуточно называются «бабушкины клетки», потому что именно благодаря им каждый из нас и оказывается способен узнавать собственную бабушку. Большинство ученых отмежевалось от этой гипотезы; с одной стороны, несмотря на усиленные поиски, никому до сих пор так и не удалось обнаружить (например у тех же шимпанзе) клеток, которые распознавали бы составленное из полос изображение. В то же время, благодаря результатам исследований различных повреждений мозга (например при несчастных случаях), нам стало известно, что функции мышления или памяти не имеют строгой локализации в какой-то одной области мозга, а распределены в довольно обширных зонах. Сегодня наука склоняется к предположению, что, имея дело с такими функциями мозга, как восприятие, память и мышление, следует говорить об уже упоминавшемся коллективном эффекте, который означает, что в подобных процессах задействована отнюдь не одна, а гораздо большее количество нервных клеток. Однако если речь идет о больших группах нейронов, функционирующих «коллективно», то встает вопрос о том, каким же образом такое взаимодействие можно обнаружить; именно этим вопросом мы вскоре и займемся.

Но сначала во избежание недоразумений следует сделать еще одно замечание. Из вышесказанного можно было бы заключить, что отдельные способности (например зрение или слух) связаны с деятельностью всего мозга целиком, но это далеко не так. Уже давно известно (опять-таки благодаря исследованиям, связанным с травмами мозга), что за определенные функции — зрение, слух, обоняние, говорение — отвечают вполне определенные участки мозга. Кстати, речевых центров даже два: один занимается формой, т. е. грамматикой, а второй — содержанием, т. е. лексикой. Благодаря использованию новых медико-физических вспомогательных средств стало возможно воочию убедиться в распределении функций между различными участками мозга: чем активнее деятельность определенной зоны, тем интенсивнее она снабжается кровью. Интенсивность кровотока можно также исследовать физико-химическими методами, рассматривать которые подробнее в этой книге мы не будем; при помощи аппарата, аналогичного

рентгеновскому (хотя в основе его работы лежат совершенно иные физические процессы), можно увидеть, какие участки мозга интенсивнее других снабжаются кровью, и узнать таким образом, за какой вид деятельности несет ответственность тот или иной участок (рис. 16.4). Перед нами вновь в высшей степени интересный с точки зрения синергетики случай взаимодействия огромного множества отдельных систем.

Теперь о процессах, протекающих в отдельных областях мозга — к примеру, в области, отвечающей за зрительное восприятие. Существуют математические модели, описывающие протекание подобных процессов; например, в основе одной из таких моделей лежит предположение о существовании всего двух типов нейронов, что возвращает нас к экспериментальным данным, показывающим, что одни нейроны усиливают нервные импульсы, а другие, напротив, гасят их, подавляя сигнал. Поначалу существование последних, выполняющих функцию, так сказать, торможения, может удивить. Однако их работа на самом деле чрезвычайно важна: без них мы оказались бы жертвами непрекращающегося воздействия на наш мозг всевозможных раздражителей, снова и снова возбуждающих нейроны.

Следует также рассмотреть вопрос о принципиальном тестировании подобных моделей деятельности мозга. Важнейшим во всех системах, исследуемых нами в этой книге, является коллективное взаимодействие отдельных элементов; в данном случае такими элементами будут нейроны — основные элементы нервной системы.

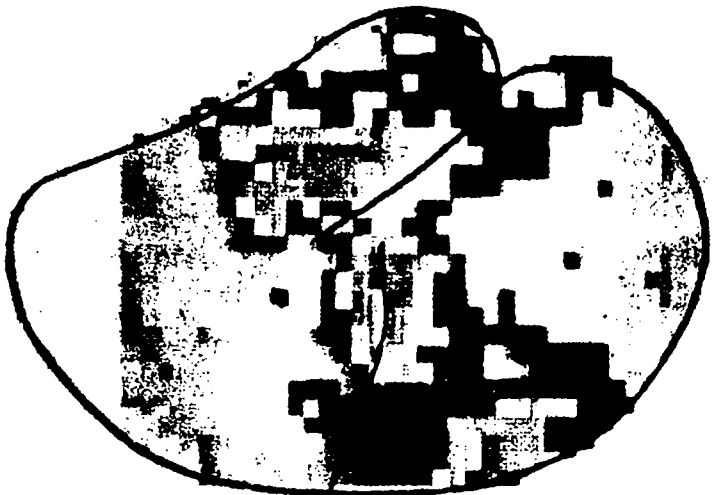
Процессы возбуждения в мозге: гипотезы и эксперименты

Ранее — особенно в главах, посвященных рассмотрению физических и химических процессов, — уже было показано, что одни и те же структуры могут быть образованы совершенно различными системами. Например, как в жидкости, так и в воздухе может возникнуть одинаковое упорядоченное движение молекул, наблюдаемое на макроскопическом уровне. При этом мы снова и снова сталкивались с тем, что эти процессы несколько не зависят от взаимосвязей между отдельными элементами системы. Постоянное возникновение одних и тех же структур обусловлено лишь тем, что система оказывается в неустойчивом состоянии.

Когда американский биоматематик Джек Коуэн, принимавший участие в симпозиуме, посвященном развитию синергетики, узнал об упомянутых аналогиях (в частности, о возникновении ячеистых структур в жидкости),



Рис. 16.4. Изменение кровоснабжения отдельных участков мозга при смене вида деятельности: движение, говорение и т. д.



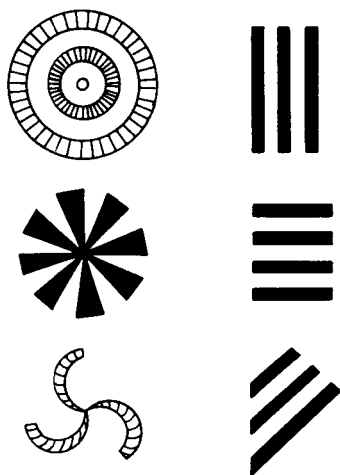


Рис. 16.5. Теория возникновения галлюцинаций, предложенная Дж. Коуэном. Слева: структуры, воспринимаемые людьми, находящимися под воздействием наркотиков. Справа: упорядоченные структуры, возникающие в мозге, согласно гипотезе Коуэна

ему в голову пришла смелая идея: он увидел связь между галлюцинациями и образованием в мозге макроскопической структуры, состоящей из возбужденных нейронов. Люди, находящиеся под воздействием наркотиков (к примеру, ЛСД), сообщают о возникновении перед ними довольно типичной картины: они видят что-то похожее на концентрические круги, или разворачивающуюся спираль, или расходящиеся из одного центра лучи (рис. 16.5). К моменту появления у Коуэна предположения о взаимосвязи между галлюцинациями и образованием в мозге упорядоченных структур, состоящих из возбужденных нейронов, у него уже были разработки, относящиеся к математической теории переноса изображения, поступающего на сетчатку, на участок коры головного мозга, отвечающий за зрительное восприятие. Отображения такого рода могут быть наглядно представлены следующим образом. В сетчатке имеются нервные клетки, называемые рецепторными; такие клетки способны преобразовать в нервный импульс попадающий на них свет (мы не рассматриваем здесь этот сложный процесс подробно — за рамками нашего рассмотрения остается, в частности, вопрос о том, осуществляется ли подобная трансформация отдельной клеткой или же целым комплексом таких клеток). Во всяком случае, сигнал от этой — условно говоря — клетки передается через нервные тяжи на совершенно определенный участок коры головного мозга. Смежные клетки на сетчатке имеют особую «телефонную связь» со смежными же клетками коры. Однако если мы привлечем гипотезу Дж. Коуэна для объяснения того, каким образом становится возможным четырехугольное отображение на поверхности коры круглых изображений с сетчатки, мы обнаружим удивительное обстоятельство. Появляющиеся при галлюцинациях картины соответствуют прямым полосам структуры, возникающей при этом в мозге и состоящей из возбужденных нервных клеток, причем структуры эти отличаются друг от дру-

друг друга. Люди, находящиеся под воздействием наркотиков (к примеру, ЛСД), сообщают о возникновении перед ними довольно типичной картины: они видят что-то похожее на концентрические круги, или разворачивающуюся спираль, или расходящиеся из одного центра лучи (рис. 16.5). К моменту появления у Коуэна предположения о взаимосвязи между галлюцинациями и образованием в мозге упорядоченных структур, состоящих из возбужденных нейронов, у него уже были разработки, относящиеся к математической теории переноса изображения, поступающего на сетчатку, на участок коры головного мозга, отвечающий за зрительное восприятие. Отображения такого рода могут быть наглядно представлены следующим образом. В сетчатке имеются нервные клетки, называемые рецепторными; такие клетки способны преобразовать в нервный импульс попадающий на них свет (мы не рассматриваем здесь этот сложный процесс подробно — за рамками нашего рассмотрения остается, в частности, вопрос о том, осуществляется ли подобная трансформация отдельной клеткой или же целым комплексом таких клеток). Во всяком случае, сигнал от этой — условно говоря — клетки передается через нервные тяжи на совершенно определенный участок коры головного мозга. Смежные клетки на сетчатке имеют особую «телефонную связь» со смежными же клетками коры. Однако если мы привлечем гипотезу Дж. Коуэна для объяснения того, каким образом становится возможным четырехугольное отображение на поверхности коры круглых изображений с сетчатки, мы обнаружим удивительное обстоятельство. Появляющиеся при галлюцинациях картины соответствуют прямым полосам структуры, возникающей при этом в мозге и состоящей из возбужденных нервных клеток, причем структуры эти отличаются друг от дру-

га только направленность полос (рис. 16.5). Коуэну даже удалось свести возникающие при галлюцинациях сложные образы к первичным структурам, и в частности, к уже хорошо известным нам ячеистым образованиям.

Как же следует понимать совокупность описанных фактов? При приеме наркотических средств происходит, по всей видимости, дестабилизация функций мозга, вследствие чего прежнее состояние покоя и равновесия сменяется на новое макроскопическое состояние, характеризующееся новой пространственной структурой из возбужденных нейронов. Таким образом, перед нами картина, аналогичная той, что наблюдается при нагревании слоя жидкости: сначала жидкость находится в состоянии покоя, а затем — при нагревании — она приходит в движение, т. е. изменяет свое макроскопическое состояние. При приеме наркотических веществ также достигается определенная концентрация наркотика в крови, приводящая к дестабилизации деятельности мозга; нейроны начинают бурно испускать огромное количество импульсов, причем — что интересно — испускать их не просто *один за другим*, а *совершенно неупорядоченно*. Разумеется, мы ни в коем случае не утверждаем, что в физическом смысле мозг начинает двигаться подобно нагреваемой жидкости; мы лишь пытаемся наглядно представить аналогию, обоснованную чисто математически.

В настоящее время подобные идеи могут рассматриваться всего лишь как умозрительные построения. Не исключено, что их можно проверить экспериментальным путем, но совершенно очевидно, что на данном этапе развития методов исследования мозга подобные эксперименты неосуществимы. До сих пор изучались только импульсы, испускаемые одной отдельной клеткой, в которую введен микроэлектрод; для обнаружения же такого рода возбуждений в различных клетках необходимо, очевидно, одновременное использование целого ряда электродов. В этой области для ученых открываются, несомненно, весьма захватывающие исследовательские перспективы¹.

¹Некоторые шаги в этом направлении уже предприняты, и здесь мне хотелось бы сослаться на работы Чарлза М. Грея, Вольфа Зингера с соавторами и Р. Экхорна с соавторами. В предыдущем разделе «Бабушкины клетки» мы говорили о клетках, ответственных за зрительное восприятие движения и ориентации световых полос, т. е. реагирующих на соответствующее раздражение нервным импульсом. Как обнаружили исследователи в ходе экспериментов с кошками, при восприятии двумя или группой таких нервных клеток движения одних и тех же световых полос происходит нечто удивительное: нейроны, которые могут быть расположены даже в нескольких миллиметрах друг от друга, испускают импульсы абсолютно синхронно — точно так же, как атомы лазера.



Рис. 16.6. Электроэнцефалограмма при нормальной деятельности мозга (вверху) и во время приступа эпилепсии (внизу)

Может показаться весьма и весьма гипотетичным положение, согласно которому множество нейронов испускают импульсы одновременно и в полном соответствии с некоторым определенным образцом. Однако в ходе исследований мозга был обнаружен феномен, при котором действительно наблюдалась подобная корреляция и синхронизация нервных импульсов. Речь идет о возникновении в мозге электромагнитных волн, которые могут быть сняты и измерены посредством электро- и магнитоэнцефалографии. Совершенно особую картину можно получить, снимая такого рода показания во время, например, приступа эпилепсии (рис. 16.6). Упорядоченные структуры, образующие возбужденными нейронами (в данном случае это временные колебания), связаны, как мы видим, с процессом, свойственным определенному заболеванию. С этой точки зрения временные колебания, возникающие во время приступа эпилепсии, абсолютно аналогичны образующимся в мозге в результате приема наркотических средств пространственным структурам, до сих пор продолжающим оставаться всего лишь гипотезой. Интересно, что унификация поведения множества нейронов подразумевает некую патологию: нам, разумеется, отнюдь не следует делать из этого вывод, что мышление никак не связано с эффектами корреляции — как раз наоборот. Если мы вообразим себе нейроны в виде ламп, вспыхивающих в момент возбуждения, то мы увидим постоянно изменяющуюся картину загорающихся и гаснущих огоньков, и определить при этом, каким образом мигание этих огоньков складывается в единую картину, весьма и весьма непросто. Настолько непросто, что на настоящий момент нам приходится довольствоваться лишь относительно непрямыми указаниями на возможность согласованного во времени функционирования многих нейронов.

Особенности процесса мышления

Многое говорит за то, что мышление осуществляется цельными блоками. Совершенно ясно, что человек, изучающий иностранный язык в стране, где этот язык является родным, часто сначала выучивается пользоваться целыми предложениями, затем узнает значения отдельных слов и, наконец, обучается свободно строить новые предложения, просто варьируя и меняя уже известные слова. Причем дело здесь отнюдь не в особенностях различных методик обучения языку. При обучении правописанию имеет место обратный эффект, т. е. мы применяем аналитический метод, заключающийся в разложении слова на составляющие его элементы и последующем определении правильного варианта написания. Однако все это лишь, так сказать, попутные замечания.

С блочным мышлением знакомы и шахматисты. На шахматной доске находится по шестнадцать фигур белого и черного цвета, и каждая фигура при этом имеет собственное значение (слон, пешка, конь, ладья, ферзь, король). Начинаящий шахматист обучается поначалу только отдельным возможным для каждой фигуры движениям, которые и применяет в ходе игры, мысленно представляя себе различные варианты ходов и просчитывая их последствия: каким образом он сможет защитить собственную ладью или взять ферзя противника. Гроссмейстеры же, напротив, размышляют о конфигурации в целом: они видят перед собой целостную картину, которая и определяет их последующие ходы, и не задумываются о движении отдельных фигур; возможны даже ситуации, когда в результате какой-то совершенно неожиданной новой комбинации шахматист вдруг оказывается вынужден думать об отдельных фигурах, — такое переключение дается ему обычно с огромным трудом. Именно в подобном блочном мышлении и заключается важное отличие между шахматистом-человеком и компьютером, играющим в шахматы. Как известно, существуют машины, с которыми человек может сыграть в шахматы, выбрав при этом удобный для себя уровень сложности. Лучшие шахматные машины на сегодняшний день может обыграть разве что очень искусный мастер или даже гроссмейстер. Можно было бы вообразить, что эти машины гораздо «умнее» людей; однако способ, каким машина достигает победы над соперником-человеком, удивительно примитивен. Машина просто просчитывает все возможные в каждой отдельной ситуации ходы (огромное количество ходов!), а затем решает, каким образом она сможет эффективнее всего сократить число фигур противника, учитывая при этом еще и важность каждой из возможных

жертв. Совершенно очевидно, что такого рода тупое упорство представляет собой полную противоположность мышлению целостными конфигурациями. Пример этот очень наглядно показывает, насколько глубока пропасть, разделяющая машину и человеческий мозг. На этот счет имеется еще одно важное соображение. По мере того как все большее число нейронов оказывается «подключено» к единой сети, система в организационном смысле переходит на все более высокие уровни сложности. Несмотря на это, мозгу, по-видимому, удастся без каких бы то ни было затруднений переходить с такого *коллективного* уровня обратно на уровень отдельной клетки.

С позиций синергетики в совершенно новом свете предстают и творческие возможности человека; это очень похоже на головоломку: перед нами вдруг мгновенно появляется некая новая картина. В мозге происходит своего рода фазовый переход, и множество прежде никак не связанных между собой деталей неожиданно становятся частицами вполне упорядоченного и преисполненного глубочайшего смысла единства, мучительные размышления разом исчезают, уступая место освобождающей определенности. Нечто, что мы уже долгое время безуспешно ищем, все это время словно бы дремало внутри нас, и вдруг объявляет о своем существовании — ярко, словно вспышка. Невозможно отделаться от ощущения, что речь в данном случае идет о процессах, аналогичных тем, что уже известны нам из других областей синергетики. В результате той или иной флуктуации («озарения» или «вспышки») возникает новый параметр порядка (новая идея), благодаря которой нам и удастся найти взаимосвязь между отдельными деталями и упорядочить их, подчинить себе. Однако все это происходит опять-таки путем самоорганизации — самоорганизации наших мыслей, в данном случае.

Возможно даже, что именно этому состоянию, сопровождающему наши «озарения», мы и обязаны пониманием многих самоорганизующихся природных процессов.

Материя и Дух

Методы синергетики позволяют, помимо прочего, найти и новый подход к проблемам, относящимся к взаимосвязи между материей и духом или, иными словами, между телом и душой. В качестве исходной точки для обсуждения возьмем идею знаменитого исследователя мозга сэра Джона Экклса (род. в 1903), представленную им на заседании лауреатов Нобелевской премии в Линдау в 1980 году. Сэр Джон Экклс видел решение проблемы в

представлении человеческого тела в виде совокупности легко заменяемых частей, наподобие деталей машины или оснастки корабля. Человека, по сути своей, можно «свести» к определенному участку мозга; при этом, согласно Экклсу, человеческое «я» является программистом, а мозг — компьютером, с которым этот программист работает. Таким образом, мозг оказывается всего лишь исполнительным органом.

Синергетика рассматривает этот вопрос иначе. Позиции синергетики, представленные в этой книге, связаны все с теми же взаимно обуславливающими друг друга понятиями параметра порядка и подчиненных ему отдельных элементов системы. В рамках такой интерпретации роль параметров порядка берут на себя мысли, а подчиненными элементами (или подсистемами) оказываются электрохимические процессы, протекающие в нейронах мозга. На многочисленных примерах в этой книге было показано, каким образом взаимно обусловлено само существование и функционирование параметра порядка и подчиненных ему элементов системы. С точки зрения синергетики, в этом же смысле в конечном счете и обуславливают друг друга материя и дух, тело и душа.

И наконец, еще несколько слов относительно интерпретации функций мозга. По-видимому, во все времена модель мозга создавалась в соответствии с последними на тот или иной момент достижениями науки: прежде это были электрические сети (а еще раньше — механизмы, подобные часовым; и такие представления даже оставили свой след в языке: «в голове завертелись шестеренки»), сегодня это, естественно, компьютеры, привлеченные в качестве аналогии. Что же станет моделью мозга завтра?

Рост мозга

Поскольку разобраться в сути комплексных процессов, протекающих в мозге, необычайно сложно, ученые вынуждены заняться поиском иных путей, позволивших бы им достичь поставленной цели. Так, к примеру, были предприняты исследования процесса роста мозга. Существует ли в природе некий предварительный проект, согласно которому происходит рост мозга? Краткое изложение известных на сегодняшний день фактов выглядит следующим образом. При развитии эмбриона сначала формируется так называемая нервная трубка — клеточное образование в форме трубки. Вокруг нее образуются нервные клетки, производство которых поставлено, если можно так выразиться, «на поток» — здесь функционирует своего рода

фабрика, производящая нервные клетки. «Произведенные» клетки без поддержки отправляются к другим участкам растущего мозга. Добравшись до определенного места, клетки диффундируют — совершенно аналогично тому, как это проделывают миксомицеты, о передвижениях отдельных клеток которых мы уже рассказывали, — и собираются там в слои, образуя при этом нечто, напоминающее, по выражению одного американского исследователя, муравейник.

Откуда же отдельным клеткам становится известно «место встречи»? Об этом ученым известно очень немного, однако есть основания предполагать, что отдельные нервные клетки перебираются вдоль уже образовавшихся клеток нейроглий и таким образом достигают конечного пункта.

Существует еще одно обстоятельство, тесно связанное с поведением слизевиков: так же, как в их клетках, в развивающемся мозге обнаруживается некое вещество, служащее чем-то вроде приманки для отдельных клеток. Речь идет о так называемом стимуляторе роста, вырабатываемом в определенных зонах и проникающем сквозь ткани². Нервные клетки, привлеченные этим веществом, устремляются в направлении его источника. Во время их странствий вполне может произойти и такое: некоторые клетки «отстают от своих» и чаще всего, заблудившись, погибают. Однако иногда им все же удается пристроиться — в каком-нибудь «неправильном» месте, — что в некоторых случаях может привести к различным заболеваниям мозга. Вернемся, однако, к дальнейшему развитию здорового мозга. Отдельные клетки, объединяясь, образуют нервные узлы, через которые и устанавливается связь клеток развивающегося мозга. Вне всякого сомнения, построение сети нейронов осуществляется посредством самоорганизации. Судя по тому, что нам известно, связи между нейронами образуются совершенно самостоятельно, безо всякого вмешательства со стороны каких бы то ни было высших инстанций, которые могли бы произвести подключение. Для объяснения принципа действия самоорганизации существует, собственно, две различные позиции; возможно, обе они верны, только применимы к развитию разных отделов мозга или к разным живым существам. Здесь мы просто представим читателям и ту, и другую.

Первая позиция такова: растущие нервные узлы при помощи особых молекул способны распознать, с какими именно клетками им следует «связаться». Представим себе, что каждый нейрон имеет нечто похожее на замок, который может быть открыт только определенным ключом. Часто слу-

²Кстати, за прошедшее время был обнаружен еще целый ряд подобных веществ.

чается так, что «проводов» между нейронами оказывается гораздо больше, чем впоследствии может быть использовано. Такие связи за ненадобностью отмирают; то же относится и к нейронам, неверно подключившимся к общей сети.

Подобная картина подразумевает, что монтаж нейронной сети протекает в соответствии с каким-то строго определенным планом, проводниками которого являются молекулярные замки и ключи.

Согласно другим представлениям, гораздо полнее воплощающим идеи самоорганизации, образование связей между клетками происходит вполне беспорядочно. Однако как только в такую нейронную сеть от органов чувств начинают поступать нервные импульсы, здесь по мере необходимости (но при этом все же полностью автоматически) происходит упрочение некоторой части связей. Таким образом, нейронная сеть возникает только благодаря использованию этих связей, и именно частота использования определяет функциональную способность этой сети. Концепция укрепления связи между нейронами в результате ее использования (например, при обработке сигналов, поступающих от органов чувств), известна в специальной литературе под названием синапсов Хебба. Синапсы — это своего рода распределительные станции, соединяющие нервные клетки; увеличение их «мощности» происходит вследствие увеличения частоты использования. К сожалению, до сих пор отсутствуют экспериментальные подтверждения тому, что наиболее часто используемые синапсы крупнее прочих. Идея образования и развития нейронной сети именно в процессе использования обладает для конструкторов, разрабатывающих компьютерную технику, огромной притягательной силой. Нельзя ли создать компьютеры, которые бы само-развивались, самоорганизовывались в процессе работы? Этому вопросу и посвящена следующая глава.

ГЛАВА 17

ЭМАНСИПАЦИЯ КОМПЬЮТЕРОВ: БЛАГО ИЛИ КОШМАР?

Вундеркинд двадцатого века

С течением времени все ярче проявляет себя тенденция к замене человеческого труда работой машин и механизмов. Еще совсем недавно человечество могло лишь мечтать о том, что благодаря машинам оно сможет наконец освободиться от бремени тяжелого и однообразного труда. Сегодня же без машин трудно представить себе как домашнее хозяйство с привычными уже пылесосами и стиральными и посудомоечными машинами, так и промышленное производство, где машины с успехом заменяют человека на различных монотонных операциях — обергывании конфет, например. В последнее же время ученые и инженеры все чаще и чаще направляют свои усилия на то, чтобы машины заменили человека и в интеллектуальной сфере. Появление компьютерной техники — типичный пример результатов подобных разработок, хотя, разумеется, способности компьютеров к подлинной мыслительной деятельности зачастую сильно переоценивают. Все, кто занимается программированием, знают, насколько тупа на самом деле машина, не способная устранить даже простейшие ошибки, не будучи предварительно запрограммированной на это. Служащие различных контор, занимающиеся, к примеру, ведением бухгалтерского учета на компьютерах, наверное, уже понимают, о чем идет речь: процесс внезапно прерывается, и все расчеты бесследно исчезают. После того как это произошло, никто и ничто не убедит компьютер вернуть пропавшие данные, если в соответствующую программу не были изначально включены подробнейшие инструкции на случай именно такого отказа. Однако к вопросу о разумности компьютеров мы намерены обратиться в этой главе несколько позднее; отложим его до тех пор.

И все же компьютеры, несмотря на все существующие у них пока недостатки, — представляют собой нечто поразительное. По всей видимости, компьютер можно считать величайшим достижением технического прогресса двадцатого века. Если раньше мы лишь слышали об использовании компьютеров в научных исследованиях (и в частности, в области космонавтики), то теперь мы сталкиваемся с ними буквально на каждом шагу. Нужно ли купить билет на поезд, или забронировать себе место в самолете, или узнать о результатах выборов, или даже найти спутника жизни — мы всякий раз можем обратиться за помощью к компьютерам. Компьютеры теперь повсюду: не только в учреждениях и конторах, но все чаще и в наших квартирах, где наши же дети привязываются к ним всей душой. Там, где раньше была необходима логарифмическая таблица или длинные столбцы цифр, теперь достаточно лишь нажатия на пару клавиш. Будучи встроенными в автомобили, компьютеры помогают сэкономить бензин или даже отыскать путь в нужное место; их применение в телекоммуникациях обеспечивает оптимальную загруженность линий. Компьютеры — верные помощники конструкторов; например, при проектировании домов они не только расставят по местам двери, розетки и прочее, но еще и начертят готовый проект во всех мыслимых перспективах, оживив при этом чертежи изображением деревьев и т. п., компьютеры рассчитывают конструкции мостов, проектируют города и системы химической очистки. Компьютеры открыли для нас мир «виртуальной реальности», в котором при помощи специальных перчаток и экранов, встроенных в особые очки, мы можем участвовать в подвижных трехмерных сценах, вступая в кажущийся реальным искусственно созданный мир. Скоро наверняка появятся программы, которые будут способны обеспечить поддержание разговора на волнующую нас тему с искусственным собеседником, глядящим с экрана, или же — для душ попроще, чьи устремления не настолько высоки, — организовать боксерский бой с виртуальным противником.

Компьютеры применяются в полетных симуляторах, предназначенных для профессионального обучения пилотов и космонавтов, и в системах управления полетами ракет к Луне и внешним планетам Солнечной системы. Компьютеры управляют не только отдельными инструментами и станками, но и целыми сложными производственными процессами; мечтой экономической системы с централизованным управлением был бы, вероятно, такой суперкомпьютер, который занимался бы управлением и планированием абсолютно всех экономических процессов. Однако именно здесь и становятся очевидными границы возможностей компьютеров, каковые границы

компьютерные специалисты характеризуют словосочетанием «информационное бутылочное горлышко». Для объяснения этого понятия обратимся к простому примеру.

В большинстве квартир температура воздуха регулируется автоматически. С этой целью на термостате устанавливается некоторое номинальное значение температуры; термометр постоянно замеряет комнатную температуру, определяя ее так называемое действительное значение. Если эти два значения перестают совпадать, термостат подает в центральную котельную определенный сигнал, в соответствии с которым температура подаваемой в батареи горячей воды увеличивается или уменьшается.

В результате переноса такого принципа в область производственных процессов или даже на экономическую систему в целом возникает следующая принципиальная проблема: для того чтобы компьютер смог принять решение о необходимости тех или иных действий, требуется измерение очень большого количества действительных величин, которые затем необходимо сопоставить с соответствующими номинальными значениями. Вся эта деятельность сопряжена с весьма громоздкими вычислениями, на выполнение которых затрачивается довольно значительное количество времени, в результате чего компьютер оказывается не в состоянии вовремя подавать необходимые управляющие команды — и вся система управления обрушивается. Причина заключается в том, что информация не может, образно говоря, протекать через «бутылочное горлышко» с необходимой скоростью. Решением этой проблемы в отдельных случаях могут стать более быстродействующие компьютеры; в общем же случае решение видится в самоорганизации отдельных процессов, что позволило бы процессу в целом протекать самостоятельно и естественно уже в таких условиях, когда предварительно заданы только те или иные релевантные величины.

С проблемами самоорганизации применительно к самим компьютерам мы еще встретимся. Однако чтобы разобраться в том, каковы возможности компьютеров и где находятся потенциальные границы этих возможностей, мы сначала поближе познакомимся с принципами функционирования компьютера. Каким образом мы используем его для своих целей? Иными словами: как программируют компьютеры? Начнем с последнего.

Программирование

Основной принцип работы компьютера не многим отличается от принципа действия карманного калькулятора. Допустим, мы задаем калькулято-

ру задачу: сложить числа 3 и 5. Мы должны для этого нажать на клавиши «3», «+» и «5», а затем на знак равенства «=». Калькулятор таким образом «узнает», что от него требуется результат сложения чисел «3» и «5». Имея же дело с компьютером, мы даем ему следующие команды: «Возьми одно число (в нашем случае это число «3»). Возьми второе число («5»). Сложи их друг с другом. Покажи полученный результат.»

Всю процедуру можно разделить на два этапа: первым будет выбор задаваемых чисел (например, чисел «3» и «5»), вторым — непосредственно вычисление. Выбранные нами слагаемые можно представить в виде шаров с написанными на них числами; предположим, что каждый такой шар находится в отдельной ячейке. В этом случае процесс вычисления может выглядеть следующим образом: «Возьми число «3» из первой ячейки и прибавь к нему число «5» из второй ячейки. Помести результат в следующую, третью, ячейку». При более сложных вычислениях алгоритм может стать более сложным; скажем, число из третьей ячейки необходимо будет умножить на число из четвертой и т. д. Основная задача, таким образом, каждый раз остается очень простой, однако при этом достигается большая амплитуда вариаций, поскольку мы можем и изменять числа в каждой из ячеек, и продолжать сам алгоритм. Можно, допустим, дать компьютеру команду «сохрани полученный результат снова в первой ячейке» и построить таким образом так называемый цикл, который обеспечит непрерывное повторение заданного вычислительного процесса. Например, так можно вычислить значение произведения $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times \dots$

У программиста, работающего с «большими» компьютерами, используемыми в научных расчетах, те же две задачи: с одной стороны, он программирует отдельные операции — шаги, которые должен выполнить компьютер (сложение, вычитание, умножение и деление, к примеру), а с другой стороны, программист обеспечивает машину новыми данными, которые она обрабатывает в соответствии с заданной последовательностью вычислительных операций.

Собственно говоря, работа программиста заключается лишь в формировании перечня самих вычислительных операций. «Скормить» же машине новые данные, по сути дела, совсем не сложно: нужно лишь распределить нужные числа по соответствующим отдельным ячейкам. Во многих случаях достаточно оказывается короткой программы, включающей в себя относительно небольшое количество операций, позволяющее, тем не менее, обработать большие объемы информации — например при расчете банковских процентов, страховых взносов, заработной платы и т. п. Если же речь

идет о более сложных вычислительных задачах, программы становятся значительно длиннее, а затраты рабочего времени высококвалифицированных специалистов, соответственно, колоссально увеличиваются. Возникает вопрос: нельзя ли с целью экономии человеческих ресурсов создать такой компьютер, который мог бы программировать себя сам? Однако сначала следует сказать еще несколько слов о программировании машин человеком.

Хотя отдельные вычислительные операции в высшей степени просты, их можно комбинировать между собой множеством различных способов. Можно выстраивать уже упоминавшиеся циклы, которые должны, допустим, приводить к тому, что приближенные вычисления будут производиться машиной до тех пор, пока результат их не покажется ей достаточно точным. В качестве примера таких вычислений можно привести процесс извлечения корня.

Однако этим возможности компьютеров не исчерпываются, с чем, собственно, и связаны и наши надежды, и наши трудности. Подобно тому, как мы представляли себе шары с числами, помещенные в отдельные ячейки и готовые к дальнейшей компьютерной обработке, можно представить ячейки и с такими шарами, на которых содержатся записи о тех или иных вычислительных операциях, своего рода сигналы к действию. Компьютер в этом случае получает команду, смысл которой приблизительно таков: «Возьми следующий шар и сделай то, что написано на этом шаре.» (Естественно, в действительности нет никаких шаров, которые компьютер мог бы «брать», как при игре в лото. Скорее, можно говорить о существовании особого запоминающего устройства, где компьютер хранит данные и откуда получает электрические сигналы, означающие для него команду «выполнить то или иное действие».) «Шар» может содержать, например, указание перемножить два заданных числа; но может также и представлять собой команду для запуска какой-то посторонней сложной программы. В результате объединения в одно целое столь разнообразных предписаний компьютерные процессы могут становиться очень и очень сложными. Эта сложность, кстати, приводит к возникновению особой «разновидности» программистов, называемой на компьютерном жаргоне английским словом «hacker»¹. Хакер — это программист, который из чистого интереса к творчеству без конца придумывает все новые и новые программы, перестает в конце концов ориентироваться

¹От англ. глагола *to hack*, который, помимо прочего, означает «управиться с чем-либо, сладить, добиться успеха в решении какой-либо проблемы». Отметим, что речь здесь идет не о тех хакерах, которые специализируются на взломе всевозможных компьютерных защит, а всего лишь о программистах-энтузиастах. — *Прим. перев.*

в собственных наработках, сидит перед компьютером ночь напролет с разбухшей головой, пытаясь разобраться, что и где пошло не так. При этом незадачливый хакер забирается все глубже и глубже, и к утру оказывается вынужден признать, что в его компьютере царит теперь полнейшая неразбериха. Приведенный пример, без сомнения, наглядно свидетельствует о том, насколько коварной штукой может быть программирование.

Трудности, с которыми сталкивается хакер, знакомы, разумеется, каждому программисту. Одной ведущей компьютерной фирмой в этой связи были проведены исследования вопроса о конструкции суперкомпьютеров с точки зрения их архитектуры. Исследования эти, правда, не дали никаких пригодных к использованию результатов, что совершенно неудивительно — с точки зрения синергетики. Компьютер, если разобраться, представляет собой нечто большее, нежели просто совокупность жестких структур; здесь постоянно идут процессы, которые для обеспечения их успешного взаимодействия обязаны быть так или иначе взаимно согласованы. Иными словами, компьютер можно безо всяких оговорок полагать синергетической системой.

Компьютерные сети

Сегодняшний суперкомпьютер «отделен» от ввода/вывода данных. В нескольких отдельных помещениях находятся терминалы, с которых компьютер получает команды и на которые отсылает полученные в ходе работы результаты: здесь они либо появляются на экранах мониторов, либо распечатываются при помощи специальных устройств.

Однако все большую силу набирает новая тенденция, соответствующая важнейшему направлению развития синергетики. Согласно этой тенденции, вместо одного большого компьютера создается сеть из множества соединенных друг с другом обычных компьютеров, которая берет на себя решение задач, раньше предназначавшихся для суперкомпьютера. В этом случае большая машина, прежде руководившая процессом ввода/вывода данных, собственно, уже и не нужна, ведь компьютеры, включенные в сеть, вполне могут «договориться» друг с другом самостоятельно (рис. 17.1). Преимущества подобной системы — сети, составленной из нескольких компьютеров, — очевидны. Такие компьютеры производятся серийно, они взаимозаменяемы, их можно устанавливать отдельно друг от друга в разных помещениях вычислительного центра (или какого-либо учреждения). Компьютеры могут

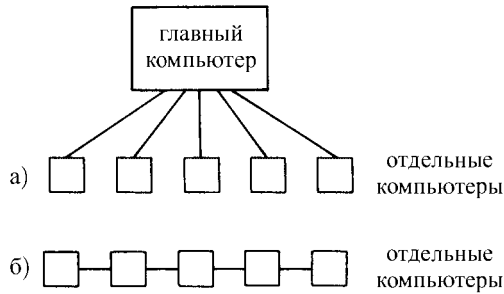


Рис. 17.1. Организация и самоорганизация компьютеров. Вверху: главный компьютер распределяет задачи — организация. Внизу: отдельные компьютеры распределяют задачи между собой — самоорганизация

быть как одинаковыми, так и специализированными под выполнение различных задач (некоторые должны иметь только мониторы, другие же — принтеры и прочие устройства). При этом возникают принципиально новые проблемы, связанные с тем, насколько способными к самоорганизации можно считать подобные компьютерные сети, состоящие из множества машин. С одной стороны, если эти компьютеры жестко соединены друг с другом, они опять-таки представляют собой некое подобие прежнего большого компьютера; при этом распределение задач между отдельными компьютерами определяется способом соединения. С другой стороны, существует вероятность, что компьютеры автоматически установят между собой новые связи. В этом случае один из компьютеров, нуждающийся в помощи, мог бы послать другому некий сигнал, снабженный, как говорят компьютерщики, особым «флажком» или «маркером», содержащим информацию о том, откуда и куда направлено сообщение, и запрос о готовности машины-адресата взять на себя выполнение определенной задачи. В ответ на этот сигнал вводится в действие так называемый «протокол», согласно которому компьютер, получивший сообщение, должен дать отправителю ответ о своей готовности (или неготовности) взяться за выполнение поставленной задачи. После обмена сообщениями в случае готовности происходит перенаправление задачи с одной машины на другую. Такое перенаправление, разумеется, требует некоторых затрат, каких не возникает при жестко установленных связях между компьютерами. Задача конструкторов в данном случае состоит в том, чтобы найти оптимальное решение, располагающееся где-то между

жестким заданием соединений компьютеров в сети и распределением задач, имеющим место при самоорганизации этих соединений; поиски этого решения на настоящий момент только-только начаты. Компьютеры, объединенные в подобную сеть, распределяют задачи между собой и решают их параллельно, затем переходят к новому распределению и т. д. Процессы самоорганизации реализуются, как говорят ИТ-специалисты, на уровне неких «фундаментальных структур».

Что же представляют собой эти «фундаментальные структуры»? Для объяснения вновь воспользуемся результатами многочисленных опытов, рассматриваемыми на страницах этой книги, хотя до сих пор мы ни разу не упоминали о существовании этих самых «фундаментальных структур». Как нам уже известно, в опытах с нагреванием жидкости или при химических реакциях возникновение макроскопических структур происходит в результате изменения внешних условий — например при подведении к системе большего количества энергии. В случае компьютерных сетей можно ожидать аналогичных явлений: ставя перед компьютерами больше задач, мы тем самым увеличиваем объем вводимых данных, в результате чего автоматически становится возможным иное, новое распределение задач между отдельными компьютерами, т. е. самоорганизация вычислительных процессов. При этом, правда, могут возникать и нежелательные явления, уже знакомые нам по предыдущим главам, — например осцилляции. В этом случае при распределении задач между отдельными компьютерами возникают периодические колебания, в результате чего каждый отдельный компьютер пропускает через себя колоссальный поток информации. Синергетика может помочь избежать возникновения подобных осцилляций. Воспользуемся аналогией с сетью нейронов мозга. Многократное распределение задач в компьютерной сети можно использовать для укрепления поначалу слабой связи между отдельными компьютерами. При этом в действие вступает принцип конкуренции, обеспечивающий «выживание» наиболее эффективных связей и подавление остальных; это приводит к тому, что компьютеры — точно так же, как шахматисты, — начинают в конце концов «мыслить блоками». Эти блоки не обязательно должны быть локализованы в каком-то совершенно особом компьютере — они могут находиться в разных машинах одной сети.

Наконец, существует возможность поставить всю компьютерную сеть в условия, которые действовали бы подобно дарвинистскому принципу о выживании сильнейшего; например, раз за разом ставить перед компьютерами одну и ту же задачу с условием, что метод решения постоянно должен

изменяться. В итоге компьютеры остановятся на том способе решения, который, к примеру, требует наименьших затрат времени².

Нам представляется, что реализация этих идей уже не за горами, поскольку задачи, решение которых поручается компьютерам, не слишком сильно видоизменяются со временем. В таком случае возможно, что в компьютерных сетях — подобно тому, как это происходит в других синергетических системах, — внезапно возникнут новые «структуры», воплощающие иные способы распределения задач между отдельными компьютерами.

Если же объединенные в сеть компьютеры вынуждены будут решать некую совершенно новую задачу, процесс решения значительно усложнится; и в этом нет абсолютно ничего удивительного: точно так же, как это делают люди, сталкивающиеся с новой ситуацией, компьютеры, учась, должны сначала попробовать различные подходы к решению.

Компьютеры умеют очень многое. Возникает вопрос: в чем же они уступают человеку? Обработка огромного количества данных не представляет для компьютеров проблемы; есть, однако, задачи, с которыми компьютер справляется не так хорошо, как хотелось бы. Речь идет о распознавании образов.

Распознавание образов

Распознавание образов является необходимым условием во многих автоматических процессах. К примеру, автоматическому сварочному аппарату приходится «самостоятельно» отыскивать то место, на которое он должен приварить соответствующую деталь. Однако задача становится еще интереснее, когда от машины требуется распознавание сложных образов. Известный пример тому — считывающее устройство, способное декодировать и распознать рукописный текст. Ведущая роль в подобных процессах принадлежит опять-таки синергетическим эффектам. На первом этапе происходит разложение букв на отдельные элементы, так называемые элементарные характерные образы или примитивы (рис. 17.2). Элементы эти подбираются так, что они могут быть восприняты машиной, скажем, как прямые и дугообразные линии, расположенные определенным образом. Такие элементы могут быть «восприняты» фотоэлементами и затем «опознаны» с помощью сравнительно простых устройств. Каждому элементу

²Следствием такого подхода является, помимо прочего, разработка новых способов решения задач — так называемых генетических алгоритмов.

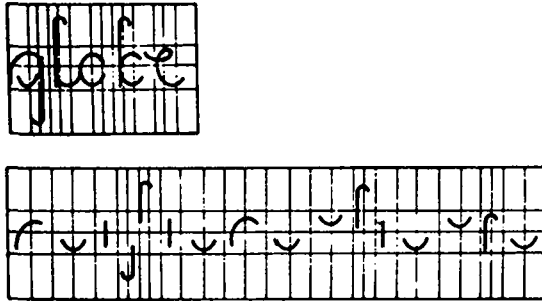


Рис. 17.2. Распознавание образа путем разложения его на отдельные элементы («примитивы»)

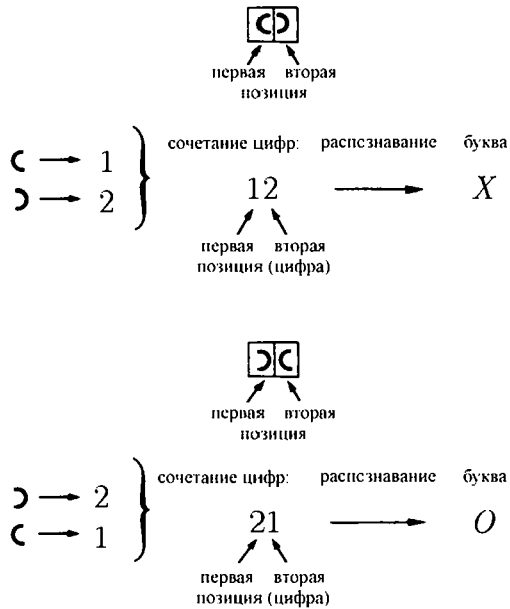


Рис. 17.3. Простой пример сопоставления примитивам чисел в зависимости от взаимного расположения примитивов

в зависимости от места его расположения сопоставлено некоторое число (рис. 17.3). Аналогично тому, как замок с цифровым кодом открывается одной-единственной комбинацией цифр, каждая буква располагает своей собственной комбинацией цифр, соответствующих каждому из элементов этой буквы и определяющих именно эту букву. Машина проверяет наличие в имеющемся у нее перечне данной цифровой комбинации и опознает соответствующую букву как, например, букву «А». Трудности при использовании такого метода распознавания вызваны тем, что он заведомо не исключает возникновения ошибок: безупречная идентификация элементов букв — не допускающая смещения, допустим, вертикальной линии и открытого справа дугообразного элемента — попросту невозможна. Таким образом, мы возвращаемся к старой задаче об отыскании способов исправления ошибок. Такого рода явления уже встречались нам при рассмотрении лазера или движения жидкости. В каждой из упомянутых систем также вполне вероятно наличие нескольких элементов, изначально «шагающих не в ногу» с остальными. Допустим, несколько атомов в лазере испускают волны «неправильной» длины, или не все молекулы жидкости принимают участие в общем движении. Однако такие «отщепенцы» очень быстро оказываются, что называется, «прибраны к рукам» параметром порядка. Для считывающего устройства это означает, что в случае отсутствия в перечне какой-либо из обнаруженных комбинаций машина должна попытаться подобрать среди существующих наиболее близкую к ней. С этой целью используются некоторые чисто математические методы. Например, каждому числу ставится в соответствие определенная точка на координатной плоскости (рис. 17.4). При обнаружении ошибки измеряется расстояние между каждой из заданных в перечне точек и точкой, соответствующей «сомнительному» числу. При этом, впрочем, возможна ситуация, требующая нарушения симметрии (рис. 17.5): проверяемая точка равноудалена от имеющихся в памяти машины «правильных» точек. В этом случае машина беспомощна: для идентификации ей недостает дополнительных критериев, в рамках которых она могла бы принять решение. Когда при распознавании рукописного слова или фразы машина оказывается не в состоянии решить, соответствует ли прочитанная ею буква, скажем, точке X или точке O, то, как показывает опыт, машина может принять решение на основании того, как распознанное слово или предложение выглядят целиком. Сопоставив полученную целостную картину с грамматическими нормами языка или просто проверив отдельные слова на предмет осмысленности, машина может наконец однозначно решить, каким же все-таки образом должна выглядеть сомни-

тельная буква. Этот пример наглядно показывает, что при последовательном распознавании знаков принятие окончательного решения относительно содержания того или иного знака может оказаться весьма непростым делом.

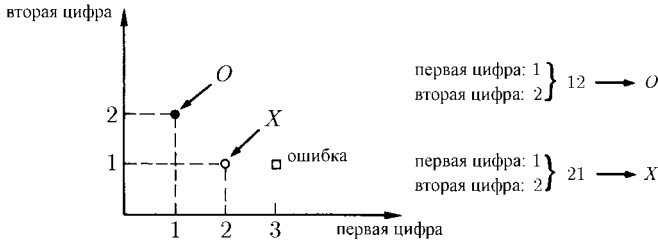


Рис. 17.4. Представление сопоставленных буквам чисел точки на координатной плоскости. В первом случае идентифицирована точка, соответствующая букве *O*, во втором — точка, соответствующая букве *X*. Комбинация же, состоящая из цифр «3» и «1», отсутствует в перечне заданных комбинаций, вследствие чего соответствующий результат распознавания считается ошибочным. Представленная система основывается всего на двух координатах; на практике же применяются многомерные системы координат

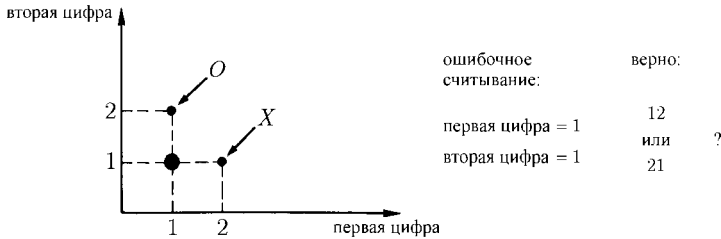


Рис. 17.5. Пример неуверенного распознавания. Машина определила обе цифры как единицы, но в ее перечне комбинаций отсутствует буква с таким цифровым соответствием: имеются лишь цифровые комбинации «12» и «21», соответствующие буквам *O* и *X* (см. рис. 17.4). Точка «11» находится на равном расстоянии как от той, так и от другой; следовательно, для принятия решения необходимо нарушение симметрии

Описанный метод является относительно жестким, ведь для верной идентификации считываемые машиной «палочки» и «крюочки» должны быть расположены по отношению друг к другу совершенно определенным образом. В случае с печатным текстом, в котором шрифт соответствует неким нормам, машинное чтение осуществимо без особых проблем; однако с рукописными текстами машина зачастую оказывается беспомощна. Для распознавания рукописных текстов разрабатываются другие методики: в их основе лежит то обстоятельство, что отдельные примитивы располагаются по отношению друг к другу определенным образом, аналогично тому, как слова в предложении занимают место, определенное им синтаксическими законами данного языка. На практике эта аналогия между грамматикой и системой взаимного расположения примитивов используется для создания инструкций, в соответствии с которыми машина будет действовать в процессе синтеза отдельных элементов в знаки (например в буквы алфавита). При этом машинному разуму приходится не один раз оказаться перед выбором, подобно человеку на развилке в лабиринте; путь же к желанному выходу и синтезу буквы из примитивов указывает анализ их взаимного расположения.

Восприятие и синергетический компьютер

Особенностью человеческого восприятия является способность понимать даже искаженную информацию; мозг оказывается в состоянии самостоятельно восполнять отсутствующие фрагменты. Эта способность мозга представляет собой существенную составляющую нашей способности к восприятию и называется *ассоциативной памятью*. Такой же ассоциативной памятью можно снабдить и синергетический компьютер. Сначала поясним на простом примере, каким именно образом здесь участвуют принципы синергетики. Этот пример, помимо прочего, наглядно демонстрирует, насколько широка область применения синергетических принципов: от движения жидкости до способности к восприятию.

Рассмотрим модель поведения жидкости, помещенной в сосуд с дном круглой формы и нагреваемой снизу. Как это уже было описано в четвертой главе, в этом случае в жидкости возникают упорядоченные цилиндрические структуры. Предположим в рамках такой модели, что все вращающиеся цилиндрические ячейки изначально сориентированы в одном-единственном направлении (рис. 4.19). Как показывают результаты моделирования, в этом

случае в жидкости самостоятельно развивается полностью упорядоченная структура из цилиндрических ячеек. Если изменить начальную ориентацию ячеек, упорядоченная структура также возникает, но движение жидкости в ней происходит уже в ином, нежели в первом случае, направлении. И наконец, можно задать одновременно два направления движения, поместив таким образом жидкость в «конфликтную ситуацию». Одна из ячеек окажется несколько «сильнее» другой, благодаря чему и одержит победу в конкурентной борьбе; окончательное направление движения жидкости в результате будет совпадать с ориентацией именно этой ячейки.

Что же при этом происходит? Используя понятия синергетики, можно описать этот процесс следующим образом. Цилиндрическое движение жидкости обуславливает возникновение соответствующего параметра порядка, который — согласно принципу подчинения — и приводит всю жидкость к упорядоченному состоянию в виде ячеистой структуры. Если же изначально из прочих выделяются сразу две ячейки, каждая из которых порождает свой собственный параметр порядка, то эти параметры порядка вступают между собой в конкурентную борьбу, и побеждает в ней тот из них, который изначально был «сильнее»; именно он в результате — опять же в соответствии с принципом подчинения — диктует свои условия в процессе приведения жидкости в упорядоченное состояние. Можно сказать, что в данном случае жидкость действует подобно ассоциативной памяти, которая из изначально заданного неполного набора данных оказывается способна восстановить соответствующий полный набор (в нашем примере — полную ячеистую структуру). Итак, мы утверждаем, что распознавание образов является, по сути, не чем иным, как своего рода созданием структур, процессом, полностью аналогичным тому, что протекает в описанной нами модели.

Взглянув на некий образ (допустим, на фрагмент картинки с изображением лица), мы выделяем в нем несколько отличительных черт — иначе говоря, примитивов. Эти примитивы порождают соответствующий параметр порядка, благодаря которому мы затем узнаем это лицо, воссоздав перед своим внутренним взором из фрагмента целое изображение. На основании аналогии между распознаванием и созданием образов был сконструирован синергетический компьютер — сначала в форме алгоритма, — который действительно оказался способен к распознаванию образов, причем ему удается распознавание даже лиц. Изображения лиц, которые компьютер должен будет распознать, либо предварительно вводятся в его память, либо могут быть «заучены» им в ходе эксперимента. Затем машине предлагается фрагмент изображения одного из таких лиц; пользуясь хранящимися в его па-

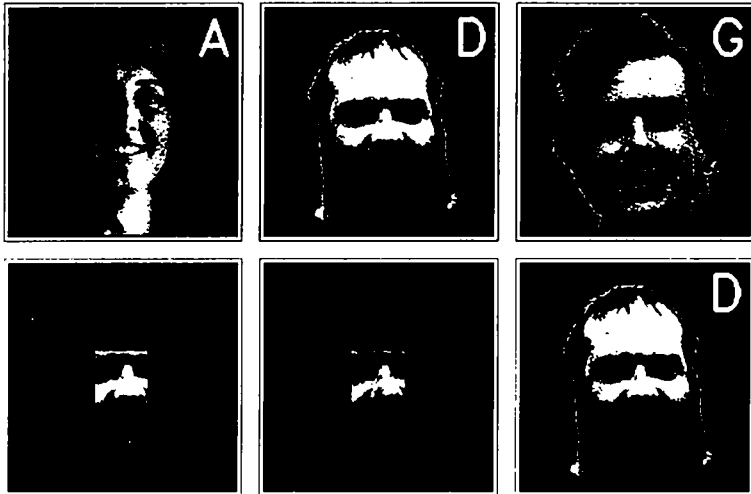


Рис. 17.6. Хранящиеся в памяти компьютера изображения, снабженные буквенным кодом (вверху); этапы распознавания одного из изображений: от заданного фрагмента до восстановления полного изображения (внизу)



Рис. 17.7. Сложная сцена, предлагаемая для распознавания синергетическому компьютеру

мнью образами, компьютер реконструирует полное изображение (рис. 17.6). Компьютер, кроме того, вполне способен распознать несколько искаженное изображение, а также учесть возможные изменения выражения лица. Несколько больших затрат стоит синергетическому компьютеру распознавание сложных сцен, подобных той, что представлена на рис. 17.7. В этом случае сначала происходит идентификация изображения лица женщины на переднем плане. Однако если компьютеру «запретить» распознавание этого образа (что вполне возможно, нужно лишь задать равным нулю

значение так называемого параметра внимания), то машина «увидит» и распознает только изображение мужского лица, расположенное на заднем плане. Таким образом компьютер способен поэтапно распознавать сложные сцены, включающие в себя целый ряд лиц.

И все же в некоторых (правда, немногочисленных) случаях компьютер выдавал-таки неверные ответы. Впрочем, я вскоре обнаружил, что и человеческие способности к распознаванию не безграничны. Убедиться в этом каждый может на собственном опыте, взглянув на рис. 17.8, на котором, на первый взгляд, изображен портрет Эйнштейна. Попробуйте, однако, взглянуть в это лицо пристальнее; в какой-то момент на рисунке вдруг обнаруживается пейзаж с тремя купальщицами. Наша собственная способность к распознаванию — так же, как и аналогичная способность компьютера — управляется некими «ожиданиями», а точнее говоря, определенными параметрами внимания. Так мы подобрались к весьма любопытному предмету — к так называемым амбивалентным, или «двойным», изображениям; еще один пример такого изображения приведен на рис. 17.9. Что здесь нарисовано: белая ваза или два черных лица в профиль? Мы видим одно из двух: или вазу, или лица. Допустим, мы попытаемся сконцентрировать внимание на вазе; спустя некоторое время перед нами, однако, вдруг снова *вместо вазы* оказываются *лица*. Этот интересный психологический феномен очень легко объясним, если предположить, что как только образ (или часть образа) оказывается распознанным, соответствующий параметр внимания обращается в нуль. Далее к делу «подключается» параметр внимания, относящийся уже к другому изображению, — он владеет ситуацией до тех пор, пока и этот второй образ не будет нами распознан, после чего внимание вновь переключается. Поскольку такого рода феномены уже были подробнейшим образом рассмотрены в другой нашей книге³, мы не будем сейчас вдаваться в подробности этих в высшей степени увлекательных явлений.

Компьютеры способны распознавать не только изображения (например лица) и тексты, но и звуковые сигналы. Звуки в этом случае преобразуются в электрические колебания, которые можно визуализировать и вывести на экран монитора (рис. 17.10). Таким образом, мы получаем определенный оптический образ, посредством которого акустическое распознавание можно свести к оптическому. Впрочем, некоторое время назад стал возможен и обратный процесс, т. е. акустическая передача оптических данных — например звуковая передача букв, распознаваемых считывающим устройством,

³Г. Хакен, М. Хакен-Крелль. *Тайны восприятия*. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. — Прим. перев.

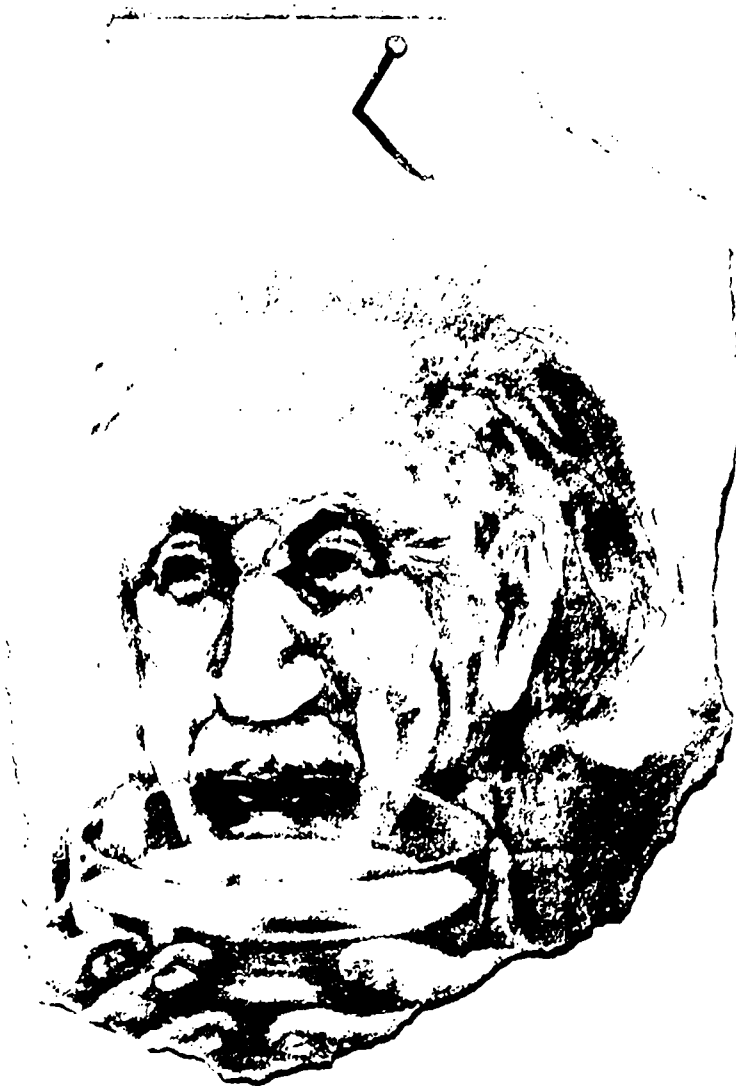


Рис. 17.8. Эйнштейн или три купальщицы?

что довольно широко используется, скажем, в гостиницах для того, чтобы будить клиентов.

Как уже говорилось, переход на следующий уровень распознавания, т. е. не просто идентификация отдельной буквы или слова, а наполнение этого слова смыслом, представляет собой качественно новый и чрезвычайно сложный шаг. Это обстоятельство становится совершенно очевидным, как только компьютер берется за перевод с одного языка на другой. Мы уже знаем, что каждое слово компьютер преобразует в определенную цифровую комбинацию. Используя эту комбинацию, машина отыскивает в имеющемся у нее в распоряжении «словаре» другую цифровую комбинацию, соответствующую необходимому слову из другого языка. Найденную комбинацию машина и полагает переводом слова на иностранный язык.

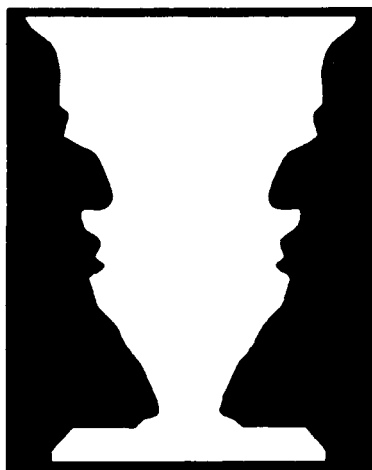


Рис. 17.9. Лица или ваза?

Однако как только речь заходит о простейших языковых тонкостях, тут-то и начинаются, собственно, трудности — например, когда переводимое слово имеет в иностранном языке несколько значений. Это случается уже на самом примитивном уровне — вспомним хотя бы о таком немецком слове, как «Teekessel»⁴. Или вот возьмем слово «кран»: кран может быть водопроводным — но может быть и подъемным. Иными словами, перед нами вновь все та же фундаментальная проблема, для решения которой требуется нарушение симметрии: имея два совершенно равноправных значения, нужное можно выбрать только исходя из контекста. Как же в таких условиях может преуспеть машина? Очевидно, нам предстоит столкнуться здесь с целым рядом проблем, порождающих, в свою очередь, новые, еще более сложные вопросы. С точки зрения синергетики, задача машины состоит в том, чтобы установить верную иерархию параметров порядка. Если значения каких-либо слов совпадают, то словам этим ставится в соответствие одинаковый параметр порядка. Такой параметр порядка во многих случаях способен (до

⁴Чайник (нем.) — Прим. перев.

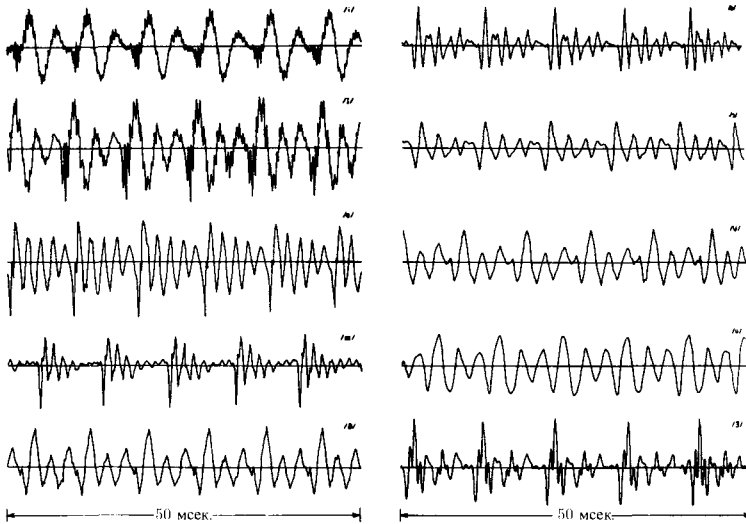


Рис. 17.10. Форма акустических волн, соответствующих нескольким звукам английского языка. (По горизонтали — время, по вертикали — амплитуда колебаний.)

определенной степени, конечно) «поправить» искаженную фразу — точно так же, как лазерная волна способна «призвать к порядку» атом, «сбившийся с ноги». Иногда одно предложение может породить несколько параметров порядка; это происходит в тех случаях, когда предложение многозначно, т. е. существует возможность различных его толкований. Чтобы однозначно определить параметр порядка в подобных ситуациях, машина должна перейти на следующую ступень иерархии. Сложность при этом зачастую заключается в том, что на более высоких уровнях иерархии для «верной» интерпретации оказывается необходим колоссальный человеческий опыт.

Внутренний мир компьютера

До сих пор, говоря о компьютерах, мы в основном подразумевали то, что называется обобщенно «программным обеспечением». Теперь же давайте рассмотрим подробнее собственно физические принципы, лежащие в основе функционирования компьютера и определяющие его «аппаратное» воплощение.

Вычислительные процессы в компьютере (равно как и деятельность, которую принято называть логическим мышлением) можно разбить на множество крошечных шагов. Этими шагами могут быть выполненные действия «и», «или», «да», «нет» или же запоминание, т. е. сохранение каких-либо данных в ячейках памяти.

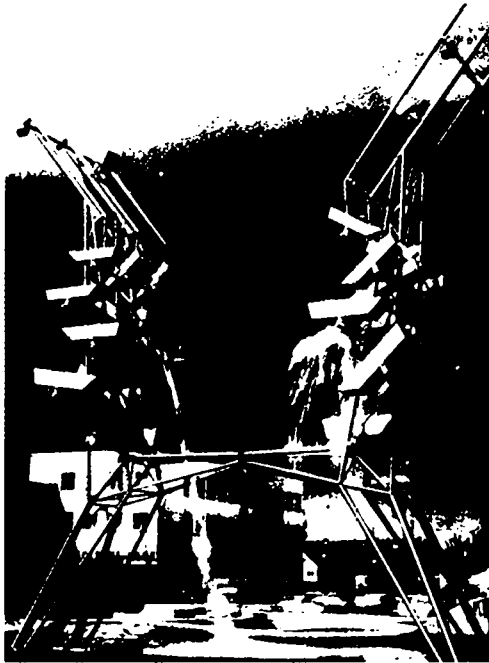


Рис. 17.11. Мобиль, приводимый в движение водой

Упомянутые логические функции могут быть реализованы уже в очень простых механических устройствах. В общественных парках часто можно увидеть так называемые мобили, приводимые в движение водой (рис. 17.11). Например, вода сверху стекает в чашу, которая по достижении определенной степени наполнения переворачивается; вода переливается в нижележащие чаши и т. д. Поначалу изменение положения чаш кажется совершенно беспорядочным, однако при более пристальном наблюдении выясняется, что каждое отдельное изменение происходит в соответствии с некоторой

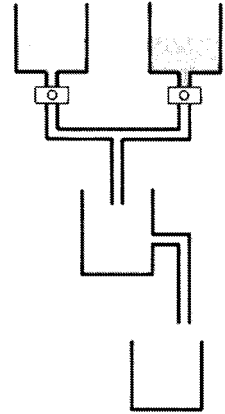


Рис. 17.12. Схема реализации логической операции «и». Находящийся снизу сосуд может наполниться водой только в том случае, если изначально были полны оба верхних сосуда

строгой закономерностью, причем закономерность эта представляет собой не что иное, как последовательность логических шагов. Рассмотрим простой пример такого мобиля, состоящего из двух сосудов, наполняемых водой. Сосуды соединены между собой (как показано на рис. 17.12), так что вода из них может стекать в расположенный ниже переливной бак.

Из переливного бака вода попадает в четвертую емкость. Если оба верхних сосуда были пусты, эта емкость также останется пустой; она наполнится только в том случае, если изначально были полны оба верхних сосуда. Можно сформулировать это положение следующим образом: для наполнения нижней емкости необходимо, чтобы были наполнены верхние емкости 1 и 2 (рис. 17.13). Это, пожалуй, простейший наглядный пример реализации логической операции «и». Для получения конечного результата непременно должны быть выполнены оба предварительных условия; многие процессы в реальной жизни протекают именно по такой логической схеме. Скажем, чтобы сварить яйцо, необходимо выполнение двух условий: во-первых, вода должна кипеть, а во-вторых, яйцо должно находиться в этой кипящей воде хотя бы некоторое время — до готовности. (Пример этот несколько хромает, поскольку готовность яйца определяется личным вкусом каждого; иное дело — математика, где причины и следствия можно задать строго).

Другой мобиль послужит нам иллюстрацией отношения «или». По сути дела, это будет практически тот же механизм, что описан в предыдущем примере, с той лишь разницей, что сливное отверстие в переливном баке

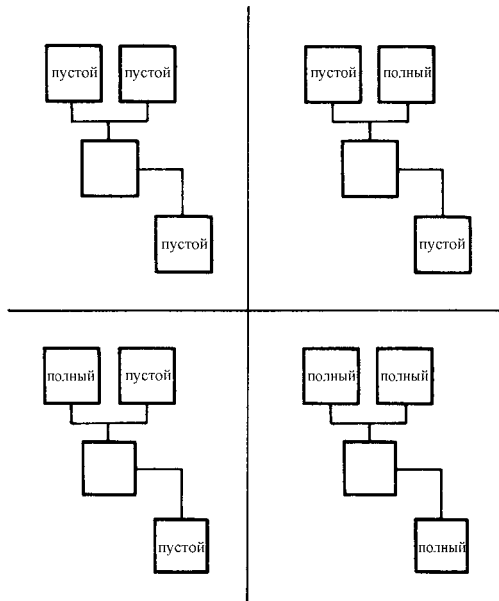


Рис. 17.13. Реализация логической операции «и»: возможные начальные состояния верхних сосудов и получаемые в результате состояния нижних сосудов

расположено на этот раз у самого его дна, что означает возможность наполнения нижней емкости даже в том случае, когда в переливной бак попадает вода только из одного из верхних сосудов, т. е. нижняя емкость наполняется водой, если наполнить хотя бы один из верхних сосудов (рис. 17.14, 17.15).

Как показывает математическая логика, все логические операции можно представить в виде цепочек таких простейших шагов, как «и», «или», «да», «нет». Однако не будем останавливаться на слишком уж абстрактных предметах; посмотрим, каким же образом эти логические операции могут быть приспособлены к практическим вычислениям, т. е. к численным расчетам. Для этого нам придется забраться «внутри» компьютера и исследовать все его тайны и чудеса непосредственно на месте.

Математики утверждают, что все числа могут быть выражены посредством различных комбинаций нулей и единиц (в так называемой двоичной системе счисления). Кроме того, различные математические операции — та-

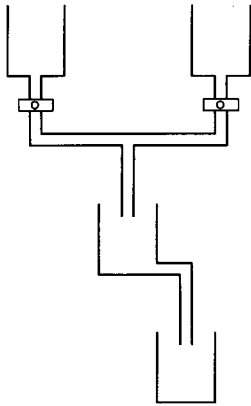


Рис. 17.14. Схема реализации логической операции «или». Для наполнения находящегося снизу сосуда необходимо наполнить хотя бы один из верхних сосудов

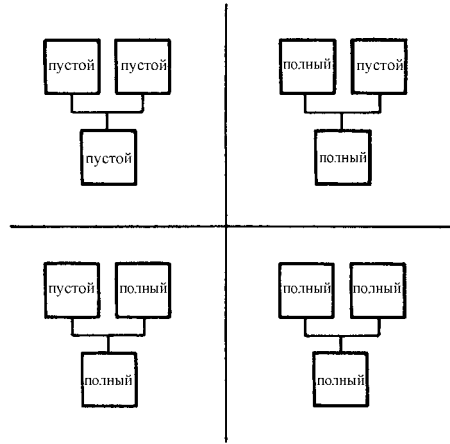


Рис. 17.15. Возможные варианты наполнения сосудов, изображенных на рис. 17.14

кие, как сложение, вычитание, умножение и деление — над числами, представленными в этой двоичной системе, производятся по тем же правилам, что знакомы нам по привычной, десятичной системе счисления.

Это может показаться странным, но отдельные компоненты компьютера «общаются» друг с другом именно на таком примитивном языке; компьютерные сигналы состоят лишь из нулей и единиц. Воспользуемся примером логической операции «и» для того, чтобы понять, каким образом компьютер оказывается способен перемножить числа «1» и «0», и убедиться в том, что он делает это правильно. Иными словами, проверим, получит ли машина тот же результат, что и мы. Каждый школьник знает, что $0 \times 0 = 0$, $0 \times 1 = 0$, $1 \times 0 = 0$ и $1 \times 1 = 1$. Все четыре решения можно в точности воспроизвести с помощью нашего мобиля, своего рода «водяного компьютера». Пустой сосуд при этом будет обозначать нуль, а полный — единицу. Если оба верхних сосуда пусты, то пуст оказывается и нижний, соответствующий конечному результату (который равен нулю). Таким образом, произведение $0 \times 0 = 0$

машина вычисляет верно. Если один из верхних сосудов наполнен водой, а второй пуст, то нижний сосуд оказывается пуст; следовательно, подтверждается и верность решения $0 \times 1 = 0$ или $1 \times 0 = 0$. Если же полны оба верхних сосуда, то и нижний сосуд в конечном итоге тоже окажется полным: $1 \times 1 = 1$. Таким образом, с таблицей умножения, которой пользуется компьютер, похоже, все в порядке.

Остальные арифметические действия также можно воспроизвести с помощью водяного мобиля. Интересующимся читателям на рис. 17.16 предлагается рассмотреть процесс сложения, который, правда, требует применения несколько более сложной конструкции мобиля. На примере устройств, подобных показанным здесь, мы можем легко убедиться в том, что компьютер осуществляет все вычислительные операции при помощи весьма несложных устройств.

Идея привлечения в качестве иллюстраций такого рода «каскадов» может показаться слегка притянутой за уши. Однако в некоторых компаниях, занимающихся производством вычислительной техники, вам и в самом деле могут продемонстрировать рабочие модели компьютеров в виде аналогичных описанным гидравлических устройств.

Схемы на рис. 17.16 дают представление о том, что уже такая простая операция как «и» требует довольно сложной системы труб. Труб же, необходимых для выполнения такими компьютерами более сложных вычислительных операций (например умножения или деления), запросто хватило бы на целый многоэтажный дом. Отсюда совершенно естественно возникает вопрос, адресованный физикам или инженерам-электрикам: нельзя ли создать схемы соединений, подобных описанным, но меньших размеров? А раз в таких схемах необходимо задействовать огромное количество элементов — что, как нетрудно видеть, подразумевает огромное количество отдельных операций, — следует в то же время стремиться и к тому, чтобы сократить длительность каждой операции. К счастью, физикам давно известны иные способы создания подобных схем, не нуждающиеся ни в воде, ни в трубах. В самом начале этой книги мы уже говорили об электронах — мельчайших частицах, движение которых создает в металлическом проводнике электрический ток. Электроны способны не только переносить электрический заряд, но и сохранять его, как это происходит, скажем, в батареях или конденсаторах.

Подобно тому, как вода под воздействием силы тяжести переливается из одного сосуда в другой, электроны могут перемещаться из одной емкости в другую под воздействием градиента потенциала. Эта аналогия между

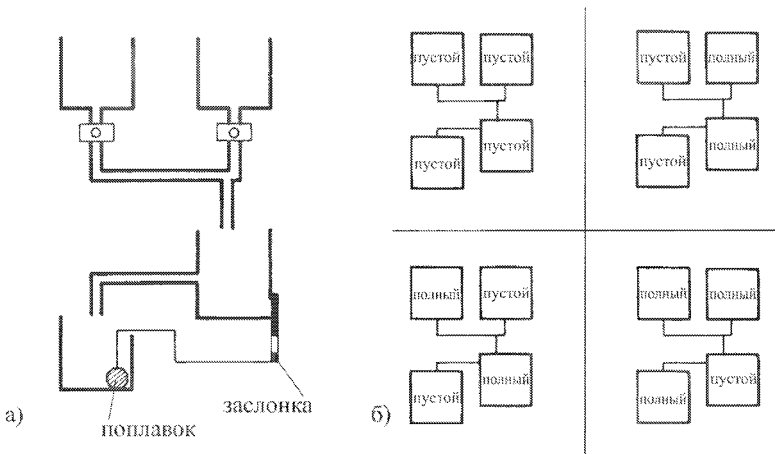


Рис. 17.16. Мобиль для сложения. Слева (а) показано устройство мобиля, с помощью которого можно воспроизвести операцию сложения. В зависимости от того, полна или пуста верхняя емкость, она представляет число 1 или 0. Наполнение нижних емкостей демонстрирует результат сложения в двоичной (бинарной) системе счисления. В дальнейшем мы будем говорить только о нижних емкостях. Случай, когда обе емкости остаются пустыми, соответствует конечному результату, равному нулю. Если левая емкость пуста, а правая — наполнена водой, это означает 1. Если же наполнена левая емкость, а пуста правая, то такой результат записывается в двоичной системе счисления как 10, что в десятичной системе соответствует числу 2. На схемах справа (б) поясняются все возможные варианты производимого сложения. Случай, когда обе верхние емкости пусты, соответствует сложению двух нулей. Естественно, обе нижние емкости в данном случае остаются пустыми. Если же открыть оба крана, когда левая верхняя емкость пуста, а правая наполнена водой, то правая нижняя емкость наполнится, но левая останется пустой. Этот результат будет соответствовать значению суммы 1. Аналогичное рассуждение применимо, естественно, и к случаю, когда полна левая верхняя емкость, а пуста правая. Особенно интересен случай, соответствующий сложению двух единиц; обе верхние емкости при этом наполнены водой. Открыв кран под одним из верхних сосудов, мы наполним водой сначала только правую нижнюю емкость. При добавлении в нее воды из второго верхнего сосуда происходит наполнение и левой нижней емкости. В этот момент, благодаря поплавку, поднимается заслонка в правой нижней емкости, выпуская из нее всю воду; такой конечный результат, показанный на схеме внизу справа, соответствует 10 в двоичной системе (или 2 в десятичной). Как можно убедиться, представленное устройство действительно способно производить сложение в двоичной системе счисления. Соответствующие комбинации подобных устройств позволяют складывать числа и более сложные, нежели 0 или 1; однако принцип, лежащий в основе процесса, остается по сути своей неизменным

течением воды и электрическим током позволила инженерам осуществить все описанные схемы соединений с помощью электроники.

Совершенствуясь в искусстве создавать все более миниатюрные схемы, техника в последние годы творит подлинные чудеса. В шестидесятые годы компьютеры собирались из радиоламп, величиной и внешним видом напоминающих обычные лампы накаливания; каждая такая лампа исполняла одну-единственную переключательную функцию. Американский компьютер ЭНИАК, начиненный восемнадцатью тысячами радиоламп, весил восемнадцать тонн и обошелся приблизительно в восемь миллионов долларов. Сегодня десятки тысяч схемных элементов, заменивших прежние радиолампы, умещаются на тончайшей плате диаметром около сантиметра, причем стоимость всей платы не превышает пяти долларов. Воплощаются в жизнь все новые и новые идеи; быстроедействие компьютеров постоянно растет: за секунду машина успевает совершить сотни миллионов операций.

Чистая логика: независимость от субстрата

Здесь и выходит на сцену синергетика. В нашей книге мы постоянно обращаемся к понятию «параметр порядка». Как показывают синергетические исследования, те же параметры порядка лежат и в основе логических процессов. Таким параметром порядка, характеризующим макроскопическое состояние системы, может быть — как в приведенных выше примерах — плотность электронов в различных элементах конструкции. Благодаря соединению подобных элементов в единую схему достигается уровень, на котором параметры порядка вступают во взаимодействие друг с другом, что приводит к возникновению новых параметров порядка. С синергетической точки зрения наиболее интересным здесь представляется то, что такие взаимодействия параметров порядка могут осуществляться множеством способов (зачастую самыми разными способами внутри одной системы), причем даже в тех случаях, когда упомянутое соединение элементов как таковое изначально в системе отсутствовало. Переключения в компьютерных элементах могут сегодня производиться с помощью лазера, что обещает в будущем быстроедействие в пределах триллионных долей секунды, в то время как до недавних пор даже десятитысячные доли секунды представлялись едва вообразимыми. Кроме того, переключения могут осуществляться и посредством химических реакций, и это обстоятельство особенно важно, если учесть, что постоянно продолжается поиск новых, более миниатюрных, нежели существующие, элементов для компьютерных схем; такой способ переключения позволяет говорить о размерах, непосредственно сопоставимых с размерами молекул и даже атомов. Живая природа располагает

подобными образцами наимельчайших из всех мыслимых элементов: речь идет о клеточных мембранах — в частности, о мембранах нервных клеток.

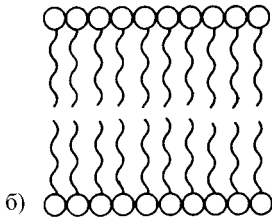
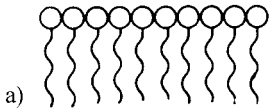


Рис. 17.17. Примеры мембран. Вверху: мембрана из одного молекулярного слоя; внизу: двухслойная мембрана

Эти мембраны состоят из удлинённых молекул, имеющих некое подобие головы и хвоста и сориентированных таким образом, что один конец молекулы всегда направлен к одному из окружающих ее амнионов, а другой — от него. При этом общая нелюбовь молекул мембраны к воде вынуждает их выстраиваться на манер солдат в строю (рис. 17.17). Такие мембраны можно изготовить и искусственно, причем толщина их будет равна длине молекулы. Под воздействием некоторых других молекул проницаемость мембраны может изменяться, благодаря чему сквозь нее могут проникать определенным образом электрически заряженные атомы либо молекулы (рис. 17.18). То есть, перед нами снова своего рода коммутирующие элементы, которые в состоянии выполнять логические функции. Очевидно, уже не за горами то время, когда человек научится наконец создавать компьютерные элементы или даже целые компьютеры атомарного размера.

Процессы упорядочивания на микроскопическом уровне протекают в полном согласии с закономерностями, обнаруженными синергетикой, ведь речь здесь идет почти исключительно об эффектах, обусловленных взаимодействием множества отдельных элементов. Перед нами открываются захватывающие перспективы: оказывается, логические процессы — и в конечном счете, мыслительные процессы вообще — могут протекать на самых разнообразных субстратах. Это может быть вода, это могут быть электроны, это могут быть химические реакции, лазер или биомолекулы. Мы заглянули внутрь компьютера и рассмотрели некоторые элементы его конструкции в действии. Однако не следует впадать в заблуждение, полагая, что все мыслительные процессы должны строиться из такого рода логических элементов. Не исключено, что существуют и другие возможности, о которых мы пока даже не подозреваем, — например процессы мышления, вовсе не разложимые на отдельные логические операции.

В определенном смысле сказанное относится и к компьютерам нового поколения, которым посвящен следующий раздел.

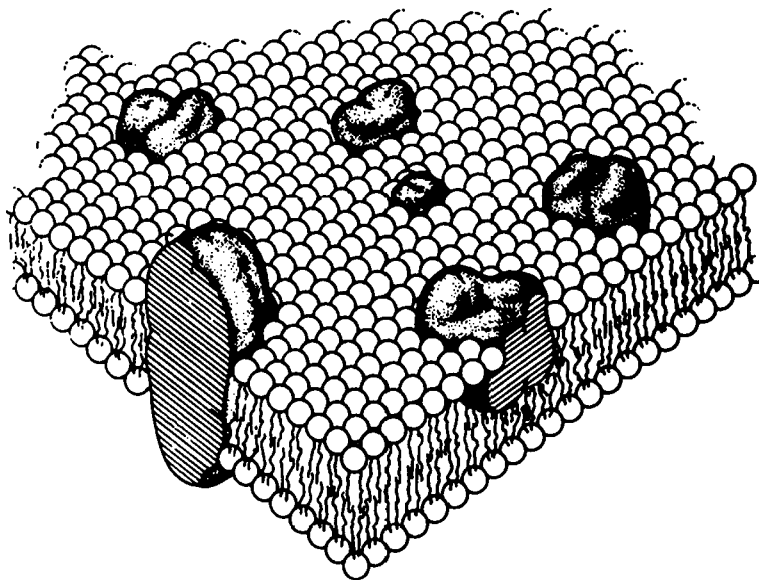


Рис. 17.18. Схематическое изображение биомембраны с встраиваемыми в нее молекулами

Нейрокомпьютер и синергетический компьютер

В самом начале этой главы мы уже затрагивали вопросы программирования; совершенно очевидно, что описанный там компьютер работает последовательно, т. е. выполняя одну операцию за другой. Такой принцип делает невозможным воспроизведение компьютером способности человеческого мозга к восприятию даже при условии, что отдельные схемные элементы компьютера обладают гораздо большим быстродействием, нежели соответствующие элементы мозга. По сравнению с компьютерными элементами нейроны человеческого мозга выглядят настоящими улитками. Но каким же образом нейронам удастся (и при том — относительно быстро!) распознавание весьма сложных изображений? Для объяснения этого факта было выдвинуто предположение о том, что мозг — в отличие от компьютера — функционирует не последовательно, шаг за шагом приближаясь к цели, а параллельно, т. е. одновременно обрабатывая чувственные впечатления, получаемые с различных участков изображения через органы чувств.

В определенном смысле, при этом происходит то же самое, что мы можем наблюдать в слое жидкости, нагреваемой снизу: частицы жидкости повсюду движутся вверх и вниз и в результате этого движения в конце концов образуется строго упорядоченная структура. Современные компьютерные разработки, нацеленные на реализацию параллельного выполнения вычислительных процессов, ведутся в двух направлениях. Первое основано на аналогии с нейронной сетью мозга, описываемой с помощью очень простых моделей, в соответствии с которыми нейрон располагает всего двумя возможностями — он может либо находиться в состоянии покоя, либо быть возбужден. При получении сигналов от других нейронов каждый нейрон эти сигналы суммирует. До тех пор пока такой совокупный сигнал (сохраняющий, впрочем, свою электрическую природу) не превышает некоторого порогового значения, нейрон пребывает в состоянии покоя; как только пороговое значение оказывается превышено, нейрон испускает нервный импульс, передавая сигнал другим нейронам. Установив же связи между схемными элементами модели, называемыми синапсами по аналогии с настоящими соединениями между нервными клетками мозга, мы сможем сохранить в такой сети определенную структуру, которая затем сыграет роль своего рода ассоциативной памяти, способной реагировать на запросы. Другое направление исследований по реализации параллельной обработки информации ведет к созданию синергетического компьютера, принцип работы которого основан на процессах, аналогичных тем, что имеют место в нагреваемой жидкости. Читатель, вероятно, уже догадывается, что между различными принципами параллельной обработки происходит нешуточная конкурентная борьба; причем синергетические компьютеры, по всей видимости, имеют в этой борьбе весьма неплохие шансы на победу.

Свойственны ли компьютерам капризы и причуды?

Компьютер представляется нам бездушной машиной, действующей в строгом соответствии с заложенной в нее программой, что само по себе исключает какую бы то ни было свободу и неопределенность. Однако в нашей книге уже рассматривались задачи, не имеющие однозначных решений; например задача о нарушении симметрии: куда покатится шар, помещенный в чашку с двумя углублениями? или же проблема восприятия: какое из изображений — ваза или лица — окажется воспринято первым? Предоставьте компьютеру подобные исходные данные, и он непременно зависнет. Решение задач такого рода следует предоставить случаю: несколько случайных

флуктуаций могут «подтолкнуть» компьютер к дальнейшим вычислениям, а затем и к окончательному решению задачи. Все перепады «настроения» компьютера суть результат предварительного программирования, однако и в том случае, когда мы ничего подобного намеренно в программу не вкладывали, выдаваемые компьютером решения могут представляться как причуды или капризы. Особенно часто случается это при работе со сложными программами, содержащими множество различных процессов — проводя аналогию с психологической сферой, можно говорить о том, что одна конфликтная ситуация здесь следует за другой.

Таким образом, мы вплотную подошли к вопросу о том, насколько вообще способен компьютер воспроизвести процессы, характерные для высшей нервной деятельности. На примере распознавания текста мы уже установили, что степень сложности чрезвычайно возрастает даже при переходе от буквы к слову, не говоря уже о следующем шаге, о следующем уровне иерархии — переходе к значению предложения. Кажется, что хотя компьютер и способен воспроизвести своего рода «перекрестную связь» или, иными словами, способен к ассоциативному мышлению, он тем не менее значительно уступает в этом человеческому мозгу. И все же нельзя исключить вероятность того, что и здесь компьютер однажды сумеет превзойти мозг — не только в отношении объемов информации, которые он способен обработать, но и в самом способе обработки этой информации. Пока же думать об этом еще рано — и факт существования современных исследований в особом направлении, называемом «разработка искусственного интеллекта», ничего здесь не меняет. Несмотря на это, мы вполне можем позволить немного пофантазировать. Уже сегодня есть компьютеры, способные в определенной мере «разговаривать», а некоторые из них даже распознают (пусть и с ограничениями) простые слова и фразы, т. е. устную речь. Насколько эти способности делают машину похожей на человека? Способен ли компьютер испытывать какие-то чувства? Обладает ли он сознанием? Эти вопросы лежат за пределами собственно синергетических исследований, все же по преимуществу естественнонаучных. Тем не менее, мы коснемся здесь некоторых идей, воздержавшись, разумеется, от каких бы то ни было готовых ответов; сделано это будет, скорее, с целью дать читателю пищу для размышлений.

Что позволяет людям судить о существовании чувств? С одной стороны, мы сами способны испытывать эти чувства; с другой стороны, мы можем рассказать о своих чувствах другим людям и даже в каком-то смысле описать эти чувства. Наша способность сообщить об испытываемых нами

чувствах основана, по существу, на том, что другой человек и сам способен испытывать некие чувства, иначе он никогда не понял бы, о чем идет речь. Здесь мы уже исходим из предположения, что чувства, испытываемые одним человеком, совпадают (или, по крайней мере, схожи) с чувствами другого человека. Нам никогда не удастся каким-либо образом проверить это положение объективно — вероятность того, что оно верно, велика, но убедиться в его истинности мы не в состоянии.

Прежде чем задаться вопросом о существовании чувств у компьютера, нам следует разобраться с вопросом о том, как обстоит положение с чувствами в живой природе. Люди, пожалуй, признают существование чувств у животных — в частности, чувства боли — пусть даже эти чувства у них не столь ярко проявляются, как у самих людей. Иначе складывается отношение людей к существованию чувств у представителей растительного мира. Мы срубаем деревья, срываем цветы и собираем урожай зерновых, ничуть не задумываясь о том, испытывают ли эти живые существа хоть какие-то чувства. Причина такого отношения наверняка заключена в том, что растения не могут нам ничего сообщить — в отличие от животных, которые способны издавать звуки, или пытаться вырваться, или укусить, т. е. как-то отреагировать на происходящее.

Все это говорит о том, что человек склонен признать существование чувств, только если речь идет о подобных ему самому существах, способных при этом каким-либо образом сообщить о своих переживаниях. Приведет ли дальнейшее развитие компьютеров к тому, что они станут подобны человеку? Мы уже сегодня с помощью относительно простых средств (скажем, изменив определенным образом программу) можем добиться от компьютера симуляции проявления чувств. Если какой-то из блоков компьютера оказывается перегружен, то машина может выдать нам эмоционально окрашенное сообщение о перегрузке — но будет ли это означать, что она и в самом деле испытывает те же чувства, что испытывал бы человек, перегруженный работой? На этот вопрос все мы, разумеется, ответили бы отрицательно. Жалоба машины на перегрузку — всего лишь реакция, запрограммированная человеком, а сам компьютер остается все той же бездушной железкой, какой представлялся нам до сих пор.

Но что произойдет, если у нас появятся машины, способные сами себя программировать и самостоятельно учиться, общаясь с окружающим их миром? К примеру, компьютеру-диагносту, который слышит от своих пациентов слово «боль» или — при случае — слово «радость», останется сделать всего лишь один шаг к установлению нужных связей, чтобы при

отказе какого-то из своих элементов или при перегрузке использовать слово «боль». Но разве ему и в самом деле больно?

Становится ясно, что переходы от человеческого к машинному могут быть довольно плавными, и возможно, что в не столь отдаленном будущем возникнут «робоправо» или Закон о защите прав роботов, аналогичные существующему сегодня Закону о защите прав человека. Возможно также, что к этим законам о роботах люди будут относиться с большим почтением, чем к законам о правах самих людей (ведь роботы недешевы!). Сегодня это еще может показаться утопией, но вполне можно нарисовать картины такого будущего, в котором вопросы, касающиеся роботов, окажутся наиболее бурно обсуждаемыми как раз в связи с тем, что машины будут все больше и больше становиться похожи на людей. Не следует забывать, что уже сегодня существуют компьютеры, которые потрясают воображение людей несведущих — потрясают до такой степени, что те готовы обратиться к ним даже со своими душевными невзгодами. Здесь вспоминается сконструированный Йозефом Вайценбаумом компьютер Элиза, который «беседовал» с пациентами и с которым, по наблюдениям самого Вайценбаума, откровенничала даже его собственная секретарша. Образ действий компьютера был, в принципе, очень прост. К примеру, пользователь (чтобы не сказать «пациент») говорил: «У меня проблемы в общении с отцом», на что машина отвечала просьбой рассказать об этом подробнее. Основная задача компьютерной программы заключалась в том, чтобы побудить пациента как можно больше рассказать о себе. Элиза производила такое впечатление, что даже психотерапевты питали некоторые иллюзии касательно применения подобной машины в своей практике. «Отец» же Элизы, Йозеф Вайценбаум, никогда не имел в виду такого ее применения; напротив, он считал опасным доверять компьютерам задачи, которые требуют человеческой способности к суждениям, ведь даже наиумнейшая машина не способна иметь этических убеждений. Было бы глупо и безответственно предоставить машине решения тех проблем, которые корнями уходят в область этики или морали; в качестве примера можно привести такие радикальные вопросы, как, скажем, проблемы войны и мира.

Компьютеры и долгосрочное прогнозирование

Однако осторожность необходима и в других случаях. Мы постоянно слышим о результатах компьютерного моделирования, касающегося даль-

нейших перспектив экономического развития человечества, о прогнозах, сделанных машинами на ближайшие пятьдесят, а то и сто лет. Речь идет, к примеру, об изысканиях «Римского клуба», о расчетах, связанных с проблемами мировой энергетики, и о многих других исследованиях. С моей точки зрения, все они основаны на том, что иллюзии человечества рассеиваются, и оно возвращается к действительности, осознав наконец, что источники нашего благоденствия не безграничны, и некоторые из них, возможно, вот-вот иссякнут. С другой стороны, благодаря исследованиям в области синергетики хорошо известно, что именно сложные системы и отличаются постоянным движением от одного неустойчивого состояния к другому; следовательно, результаты компьютерного моделирования весьма чувствительно могут зависеть от таких факторов, которые мы поначалу отбросили бы, сочтя незначительными и несущественными. Небольшая погрешность, касающаяся распределения сырья и ресурсов, или производственных процессов, или вторичной переработки и т. п. могут привести к совершенно неожиданным конечным результатам; в главе, посвященной хаосу, на простых примерах рассматривались подобные случаи. Часто оказывается важнее оценить качественно отдельные детали течения различных процессов, нежели вводить в компьютеры громадные массивы информации, которую они должны обработать уже непостижимым для нас образом. Это приводит к необходимости развития особого рода чутья, понимания того, какие именно величины в каждом случае являются релевантными, т. е. действительно важными и значимыми. Вне всякого сомнения, нам придется добираться до решения сложных проблем только «на ощупь», причем грамотное использование компьютеров может оказать здесь существенную помощь. И все же — вопреки всем попыткам перспективного планирования и предварительным расчетам — в будущем нам следует всегда быть готовыми к новым неожиданностям, как приятным, так и печальным.

ГЛАВА 18

ДИНАМИКА НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ МИРА, ИЛИ БОРЬБА В МИРЕ НАУКИ

Пожалуй, впервые в нашей жизни мы соприкасаемся с наукой, начав обучение в школе. Наука является нам в виде различных школьных дисциплин — таких, к примеру, как история, география, биология, математика и физика. При этом наука представляется некоей данностью, раз и навсегда установленной еще в незапамятные времена. Исполненные исследовательского пыла молодые люди оказываются введены в заблуждение тем, что все на свете кажется им уже открытым и изученным, и Земля — уже обшаренной до последнего уголка.

Но вместе с тем мы все же время от времени слышим о научных открытиях или изобретении чего-то совершенно нового. Открыта звезда, яркость которой изменяется случайным образом; обнаружены новые элементарные частицы, названные глюонами; при помощи лазера — источника света нового типа — теперь можно сверлить толстые стальные плиты; математики наконец нашли решение задачи о четырех красках, которой уже больше ста лет. Задача эта кажется до того простой, что множество раз за ее решение брались даже дилетанты — однако старания их оказывались столь же тщетными, как и усилия маститых математиков. Задачу эту можно изложить всего в нескольких словах. Страны, граничащие друг с другом, окрашиваются на политических картах в разные цвета (рис. 18.1). Для больших карт, на которых изображено множество стран, потребуется, как может показаться, и множество разноцветных красок. Однако печатники в девятнадцатом веке методом проб обнаружили, что для любой отдельной карты оказывается достаточно всего-навсего четырех красок. Математики решили выяснить, насколько универсален этот полученный опытным путем результат: действительно ли для любой карты всегда достаточно четырех цветов и нельзя ли придумать такую карту, для печати которой было бы необходимо использовать, к примеру, пять различных красок? С момента возникновения

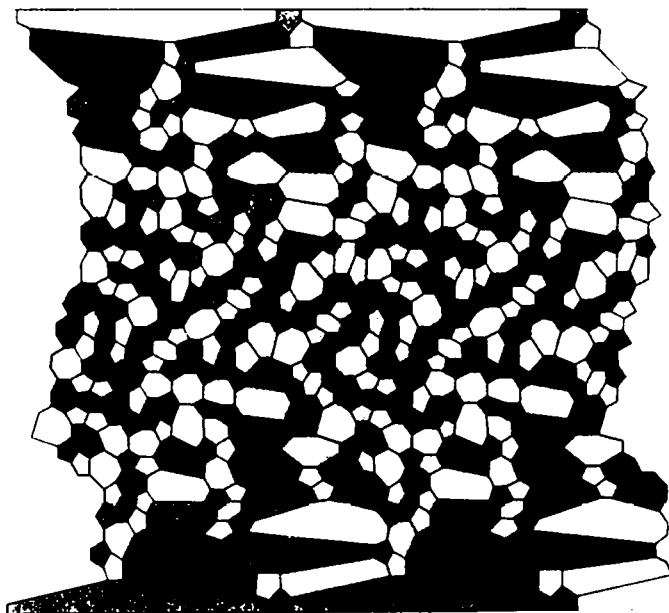


Рис. 18.1. Модель «четырёхкрасочной» географической карты с использованием белого, черного, светло- и темно-серого цветов

этих вопросов прошло более ста лет, и лишь несколько лет назад Кеннету Аппелю и Вольфгангу Хакену удалось найти ее решение с помощью компьютерной программы, составленной таким образом, что компьютеру удалось самостоятельно выполнить полное и подробное доказательство.

Во всех этих и многих других примерах наука предстает перед нами совершенно в ином свете. Многочисленны примеры того, как отдельные ученые и исследователи полностью изменяли наши представления о мире. Так, например, Эйнштейн, создав теорию относительности, перевернул представления человечества о природе пространства и времени. Гейзенберг и Шредингер разработали квантовую теорию, представив нам абсолютно новую картину микромира. Крик и Уотсон открыли двойную спираль, несущую в себе всю наследственную информацию. Во время обучения и позднее, когда он становится уже самостоятельным исследователем, человека

захлестывает поток научных публикаций. Со всех сторон на нас обрушиваются сообщения о все новых и новых открытиях, ведь ежедневно в мире публикуется более двадцати тысяч научных работ. Таким образом, наука только на первый взгляд может показаться чем-то статичным, застывшим в состоянии покоя; при ближайшем же рассмотрении становится ясно, что она находится в непрерывном движении, в состоянии, так сказать, эволюционного развития.

Здесь мы вновь вернемся к соображениям, которые уже не единожды встречались нам при рассмотрении проблем синергетики. Изучая различные явления, описываемые в этой книге, мы установили, что при изменении уровня или характера внешнего воздействия система продолжает на протяжении некоторого промежутка времени развиваться более или менее равномерно. Однако при определенных обстоятельствах скачкообразно возникает совершенно новое макроскопическое состояние порядка. Для описания этого состояния как нельзя лучше подходят идеи, представленные известным историком науки Томасом С. Куном в книге «Структура научных революций»¹ и вполне вписывающиеся в создаваемую синергетикой картину мира. В своей книге Кун отделяет нормальную науку от случающихся в научном мире переворотов. Нормальная наука также способна к развитию, но оно идет медленно и постепенно, за счет расширения и углубления уже имеющихся в распоряжении ученых знаний. Например, в основе мостостроения лежат давно известные физические законы, на основании которых инженеры создают новые конструкции мостов, развивая тем самым данную отрасль. Возможно, здесь не создается ничего принципиально нового, однако некоторый прогресс науки и техники все же налицо. Или другой пример: эксперименты физиков, целью которых является более точное измерение скорости света. В биологии сюда можно отнести непрекращающиеся исследования способов передачи электрического заряда сквозь клеточные мембраны. Однако именно такие исследования порой приносят науке совершенно новые знания о мире. Скажем, к началу двадцатого века было накоплено достаточно много свидетельств того, что законы механики неприменимы к движению электронов вокруг атомных ядер, так как, в соответствии с этими законами, ни один атом не мог находиться в устойчивом состоянии: электроны, вращающиеся вокруг ядра, должны были бы в конце концов неминуемо на это самое ядро упасть. Иными словами, следо-

¹Thomas S. Kuhn. *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1970.

вало признать, что существующие законы неверны или, по крайней мере, их истинность ограничена определенными рамками.

Наука, с точки зрения синергетики, является открытой системой, в которую постоянно проникают всевозможные новые идеи. Открытия могут быть до такой степени радикальными, т. е. ведущими к коренным переменам, что потрясают самые основы существовавшей прежде науки и изменяют картину мира, созданную представителями этой науки. Ученые пребывают в сомнениях. В синергетическом смысле при этом возникают все более сильные флуктуации, проявляющие себя в форме новых идей или новых экспериментов, которые приобретают сторонников и тем самым набирают все большую силу; затем многие из этих идей опровергаются и отвергаются, их сменяют другие идеи, и так продолжается до тех пор, пока не появится идея, которая окажется в состоянии объяснить многие до сих пор необъяснимые явления, а потому будет окончательно принята учеными. Новая научная идея — такая, например, как уже упоминавшаяся квантовая теория — влечет за собой, по мнению Томаса Куна, научную революцию. С точки же зрения синергетики, такая новая идея, объединяющая прежде разрозненные научные факты, является не чем иным, как параметром порядка. Этот параметр порядка, называемый в книге Куна «парадигмой», обладает всеми свойствами и характеристиками, присущими любому из известных синергетике параметров порядка. Он даже способен «подчинять» себе работы ученых, которые занимаются разработкой нового научного направления, развивают его в духе возникшей идеи, расширяют, углубляют и в конце концов доводят до состояния «нормальной» науки. И наоборот: благодаря работам этих ученых новая идея (или новая парадигма) распространяется все шире, чем и обеспечивается продолжение существования именно этого параметра порядка. Переход от одного состояния научного сознания к другому оказывается своего рода фазовым переходом. Новая идея, новый основополагающий принцип или новая парадигма приводят к возникновению нового стиля, нового порядка в мышлении.

Такого рода параметры порядка могут быть в некотором смысле принесены в науку извне — например в результате какого-либо открытия; однако они могут возникать и исчезать, подобно модам, в соответствии с общим духом времени. Едва ли можно отрицать тот факт, что во все времена существует теснейшая связь между научными воззрениями и другими сферами духовной жизни; не на пустом месте возникла и давняя глубокая полемика между религиозно-философскими рассуждениями и научным познанием.

Из синергетики нам известно, что параметр порядка подчиняет себе элементы системы; в рассматриваемом случае такими элементами оказываются отдельные ученые, и в науке действительно имеет место именно такой процесс подчинения. Отрасль научного знания как таковая может существовать только тогда, когда она получает признание если и не большинства, то хотя бы большого числа ученых. Научная дисциплина создает свой собственный язык, обзаводится собственной терминологией, общей для всех представителей этой дисциплины. Человек со стороны или ученый, занимающийся другой наукой, практически не в состоянии понять этого языка, будь то язык медицины, компьютерных наук или математики. Таким образом наука самостабилизируется; идеи, положенные в основу этой науки, становятся настолько стабильными, что могут показаться даже застывшими догмами. Эти идеи отчасти бездумно перенимаются последующими поколениями, и это обстоятельство в значительной степени усложняет жизнь молодых ученых. Им удастся с относительной легкостью публиковаться в научных журналах — но лишь до тех пор, пока их работы остаются в рамках общепринятых воззрений и ставших традиционными условностей. Гораздо сложнее опубликовать принципиально новую идею, лежащую за пределами традиционных представлений, и при этом еще найти сторонников этой идеи. Молодой ученый, таким образом, оказывается перед подлинной дилеммой: для того, чтобы выделиться, выдвинуться, показать себя и получить признание в научном мире, ему, вообще говоря, следует обзавестись своими собственными, отличными от традиционных, абсолютно новыми идеями и опубликовать их. Реферативная же система научных журналов, предусматривающая рецензию каждой из присланных в редакцию работ и последующее решение относительно публикации той или иной статьи, оказывается своего рода заслоном, преграждающим путь новым идеям, ведь рецензенты, как правило, принадлежат к «старой школе» мышления. Естественно, и здесь встречаются исключения, но все же в физике, к примеру, для того чтобы открыть путь в науку гениальным идеям Эйнштейна, потребовался гений самого Макса Планка.

Разумеется, проблема продвижения новых идей представлена мною здесь в несколько утрированном виде. Для того чтобы двигать вперед науку, колоссальные усилия необходимы и при ее нормальном, в отсутствие революционных идей, развитии; редкому ученому посчастливится наткнуться на действительно новую фундаментальную идею и посвятить свою жизнь продвижению этой идеи. Чаще всего события развиваются в полном согласии со сценарием, предусмотренным для других синергетических систем.

Наступают времена, готовые к принятию некоей идеи, и она, едва будучи выдвинутой, легко и быстро продвигается вперед. Момент времени, когда наука и общество «созревают» для того, чтобы принять новую идею, часто характеризуется еще и тем, что разные ученые одновременно и при этом независимо выдвигают похожие, а порой и совершенно совпадающие друг с другом идеи.

Хотя всегда находится несколько выдающихся ученых, добившихся особенно значительных результатов, наука все-таки остается коллективным предприятием. Научные достижения отдельных ученых передаются остальным, и через них позднее становятся достоянием студенческих и даже школьных учебников. И наоборот: ученый создает свой труд, опираясь на знания, добытые предыдущими поколениями. Такое положение делает науку как таковую предметом изучения для новой научной дисциплины — для социологии науки. Один из основателей этой дисциплины, Роберт Мертон, увлекательнейшим образом представляет мир социальных отношений в науке как с научной, так и с чисто человеческой точки зрения. Красной нитью через всю его книгу проходят два мотива: борьба ученых за приоритет и так называемый «эффект Матфея». При ближайшем рассмотрении, как уже было отмечено, выясняется, что открытие отнюдь не всегда есть плод трудов одного отдельного ученого. Часто случается так, что несколько ученых оспаривают друг у друга право считаться авторами некоего фундаментального открытия. Истории известны открытия, сделанные практически одновременно разными людьми. Это и дифференциально-интегральное исчисление, открытое почти в одно и то же время независимо друг от друга Ньютоном и Лейбницем; в биологии таким примером может быть случай Дарвина и Уоллеса, работавших над основополагающими принципами теории эволюции. Дарвин и Уоллес доброжелательно относились друг к другу, а вот Ньютон, скажем, вел против Лейбница ожесточенную борьбу, утверждая, что последний попросту украл у него идею нового способа исчисления. Однако все тот же Ньютон должен-таки был в конце концов признать, что термин «сила» первым использовал его соотечественник Роберт Гук.

В этой связи вновь вспоминается высказывание Ж.-Ж. Руссо, уже процитированное нами на с. 212.

Какая же сила движет учеными, и каким образом синергетика может помочь нам получить представление о происхождении научных знаний?

В деятельности ученого — как и любого другого человека — определенную роль играет, естественно, вопрос поддержания жизни. Однако решающее значение, по всей видимости, имеют все же иные мотивы, мет-

ко выраженные в эпиграфе к книге Гарриет Цукерман «Научная элита»². Выбранные в качестве эпиграфа строки принадлежат перу Симоны Вейль: «Наука сегодня должна искать источник вдохновения в чем-то высшем, нежели она сама, иначе ее ждет гибель. Для занятий наукой имеются, в сущности, три причины: во-первых, практическая полезность, во-вторых, игра, вроде шахмат, и в-третьих, путь к Богу. (Привлекательность шахмат, к слову, усиливается соревнованиями, призами и медалями.)»

В наше время, вероятно, можно говорить уже не только о практической полезности научных знаний, но и о применимости их вообще. Об общественной значимости научных исследований написано так много, что на этой теме я лишь кратко остановлюсь в самом конце.

Последний пункт, «путь к Богу», также вполне понятен: это поиски истины, поиски того, «на чем держится мир».

Но что бы мог означать второй пункт, «игра в шахматы»? Это выражение представляет науку как интеллектуальный поединок за первенство в раскрытии очередной тайны, хранимой Природой, это борьба ученых между собой за радость, которая доступна только первооткрывателю, за признание в научном мире, воплощаемое, вероятно, и в премиях и медалях. Точно так же, как гроссмейстеры сражаются за первенство, ученые вступают в интеллектуальные споры, ведь борьба за признание в мире науки есть, в конечном счете, не что иное, как борьба за первенство, т. е. за приоритет. Кто первым сделал открытие? Кто первым опубликовал идею? И хотя в век «работы в команде» такая позиция часто выглядит абсурдной, мы не должны забывать и о том, что конкурентная борьба в науке становится все жестче и жестче. Здесь опять-таки применимы основные принципы синергетики. Ученых в мире очень много, но их научный потенциал и возможность открыть нечто действительно новое ограничены. Это и приводит к дальнейшему ужесточению конкурентной борьбы в том смысле, в каком она уже рассматривалась в нашей книге на множестве примеров; в результате этой борьбы выживает «сильнейший», «лучший». Подобно тому, как «выживает» *единственная* лазерная волна, одерживая победу над другими волнами, в результате конкурентной борьбы в научном мире на самом верху остается только один победитель — одно имя или один труд. Именно это имя у всех на устах, именно этот труд снова и снова цитируется, проникая таким образом в сознание ученых, занимающихся исследованиями в данной области, а в конце концов, возможно, и в сознание людей, даже не принадлежащих научным кругам.

²Harriet Zuckerman. *The Scientific Elite*. New York, 1977.

Поначалу это утверждение может показаться притянутым за уши — что, впрочем, лишь роднит его с другими идеями синергетики. И все же именно оно и было определено Робертом Мертоном как «эффект Матфея» и проиллюстрировано множеством примеров. В Новом Завете, в Евангелии от Матфея, говорится: «Ибо, кто имеет, тому дано будет и приумножится; а кто не имеет, у того отнимется и то, что имеет.» Стоит только какому-то имени выделиться, как оно все чаще и чаще начинает упоминаться разными авторами и по разным причинам; это происходит до тех пор, пока оно в конце концов не останется единственным упоминаемым в этой связи именем. Эффект этот в значительной степени усиливается за счет премий, особенно если это премии известные. Ученых в мире много, а потому новые результаты часто бывают получены одновременно разными учеными независимо друг от друга. Однако если один из ученых будет награжден за это открытие премией, то велика вероятность того, что именно его будут в дальнейшем цитировать, и именно ему будут приписаны все последующие открытия в данной области — включая и те, к которым он не имел ни малейшего отношения. Следует заметить, что и деятельность комитетов, ответственных за присуждение тех или иных премий, тоже характеризуется определенной динамикой. Если среди лауреатов какой-либо премии имеется несколько представителей одного научного направления, то возникает тенденция, в соответствии с которой в дальнейшем премии будут присуждаться представителям именно этого направления — ведь награждение происходит по предложениям обладателей данной премии. Это, естественно, приводит к своего рода накоплению премий представителями определенных научных направлений или «школ». Масса примеров тому приведена в книге Г. Цукерман.

Интересно, кстати, что ученые пытаются либо как-то противодействовать этому давлению конкуренции, либо же использовать его в собственных интересах. Для ученого, желающего добиться признания и известности, важно, чтобы результаты его исследований применялись и цитировались в работах других авторов. В США, например, издается обширный справочник, который называется «Индекс цитируемости»³. Допустим, некто Х опубликовал некогда научную работу. С помощью упомянутого справочника можно получить отсортированные в хронологическом порядке сведения о том, какие именно авторы, когда и сколько раз ссылались в своих трудах на данную работу, и таким образом подсчитать, насколько «цитируем» наш

³*Citation Index.*

автор Х. Разумеется, уважение к ученому определяется не одним лишь количеством ссылок на его труды. Возможен, к примеру, такой случай: некто Х опубликовал работу, где важность поставленной проблемы неоспорима, а вот подход к ней или ее решение неверны; многие ученые, интересующиеся той же проблематикой, прочтя эту работу, опубликуют собственные уточнения и поправки к ней. На этом примере (а мы взяли крайний случай) становится ясно, что «Индекс цитируемости» может являться лишь косвенным указанием на то влияние, которое ученый оказывает на своих коллег. Впрочем, поговаривают, что некоторые американские фирмы и университеты при оплате труда сотрудников руководствуются данными «Индекса цитируемости», а те ученые, на работы которых коллеги ссылаются чаще, получают более высокую зарплату. Это вновь возвращает нас непосредственно к рассматриваемому вопросу о попытках ученых уйти от давления конкуренции. Хотя речь здесь идет лишь об единичных случаях, не типичных для большинства ученых, эти случаи все же представляются, с точки зрения синергетики, по-настоящему интересными. Воспользовавшись все тем же «Индексом цитируемости», можно обнаружить, что кое-где — особенно в больших странах — существуют группы ученых, которые в своих работах ссылаются почти исключительно друг на друга, в то время как не входящие в группу авторы цитируются крайне редко, а зачастую и вовсе не упоминаются. Таким образом, члены «клуба» взаимно повышают друг другу частоту ссылок на собственные работы, а с нею и степень уважения и почта в научных кругах.

В определенном смысле такое поведение напоминает тот образ действий, что был рассмотрен в четырнадцатой главе на примере торговли, сконцентрированной в одном месте и способной за счет такой концентрации вытеснить отдельные, «рассредоточенные», магазины. Поскольку подобных «клубов» в мире немало, конкуренция между отдельными учеными теперь превратилась в конкуренцию между их «клубами». Возникновение такого рода «клубов» может показаться, на первый взгляд, опасным для естественного развития науки. Действительно, может случиться так, что какой-нибудь «клуб» займется распространением каких-то ложных идей — безусловно, полностью исключить вероятность такого развития событий нельзя. Однако при этом не следует недооценивать роль научной самокритичности, возникающей как следствие борьбы за приоритет: именно поэтому особенно значительным достижением в науке может стать доказательство того, что какая-то из существующих теорий или идей ложна. Вполне возможно также и то, что любая новая идея, отличная от идей, бытующих среди чле-

нов подобного «клуба» или научной школы, будет сталкиваться при своем обосновании со значительными трудностями.

Прежде в таких случаях новую идею можно было продвинуть в жизнь лишь со сменой поколений в науке. Допустим, по какому-то вопросу представители старого поколения ученых никак не могли сойтись во мнениях; пришедшие в науку вслед за ними выбирают то решение проблемы, которое им кажется правильным, и забывают о предшествовавшей борьбе. Наше время — а вместе с ним и наша наука — изменяется настолько стремительно, что сейчас для создания новой парадигмы уже вряд ли необходима смена поколений. Кому же в конечном счете идет на пользу вся эта конкурентная борьба в науке? Ответ может вас удивить: самому человечеству, если ради собственного будущего оно сумеет ответственно распорядиться добытыми с таким трудом знаниями. В итоге второй и третий пункты из эпиграфа к книге Г. Цукерман могут быть столь же важны и полезны для человечества, как и первый, касавшийся практической полезности результатов научных исследований.

Конкурентная борьба между учеными есть не что иное, как борьба за результаты; именно результаты и являются той целью, что ставит перед собой ученый. Наука — это самоорганизующаяся система. Отдельные моменты развития науки напоминают о процессе зарождения самой жизни — в том виде, в каком представляют себе этот процесс биологи. Сначала случайно возникшие органические молекулы (к примеру, аминокислоты) объединяются во все более крупные образования, которые затем вдруг достигают такого состояния упорядоченности, которое приводит к переходу на более высокий уровень и появлению каких-то совершенно новых структур, наделенных качественно иными функциями. В этом смысле научные знания, возникавшие как накопление в большей или меньшей степени отрывочных, фрагментарных сведений, объединяются затем на более высоком уровне, образуя новую парадигму.

А нельзя ли вместо ожидания подобных «случайностей» и собирательства всевозможных «фрагментов», заняться систематическим планированием науки? С наукой дела обстоят почти так же, как с нашими собственными мыслями: мы не можем принудить себя изобрести нечто новое или совершить открытие, просто используя формулу «Завтра я непременно совершу открытие или что-нибудь изобрету». Добьемся ли мы успеха в своих начинаниях, зависит от многого, и не в последнюю очередь от того, правильно ли сложатся в единую картину отдельные «фрагменты» наших мыслей и идей — сложатся опять-таки сами собой, т. е. путем самооргани-

зации. Именно этот эмпирический факт и превращает планирование науки, ведение научной политики в столь сложное дело.

Однако мы можем многому научиться, изучая самоорганизующиеся системы в природе: например, постановке общих целей, не вдаваясь в детали, поощрению молодых ученых, а также содействию в совместной работе, сотрудничестве и обмене мыслями представителей различных научных дисциплин. Идеи часто оказываются весьма плодотворными в нескольких различных областях и приносят с собой новое видение взаимосвязей между ними, порой даже ведущее к прорывам в науке. Например, я слышал, что идея серийного производства автомобилей осенила Форда, когда он задумчиво наблюдал за процессом сборки сельскохозяйственной техники.

При всей благотворности подобных воздействий нельзя не учитывать, что именно выдающиеся ученые обладают особым «инстинктом» чувствовать, что есть важно, что есть релевантно, что достижимо, что осуществимо. Фрустрацию у ученых при таком положении дел могут вызывать прежде всего непрестанные упреки в неспособности открыть что-либо новое, исходящие от людей не особенно смыслящих в науке или даже вовсе от нее далеких. Способность что-то открыть означает, собственно, умение отыскать перспективные, многообещающие области — а для этого, помимо всего прочего, нужны и большой опыт научной работы, и удача, и тот самый «инстинкт».

Если бы было возможно спланировать все заранее, предусмотреть каждое открытие и изобретение, то наука, кажется, была бы не нужна нам; однако опыт истории доказывает, что это не так. Многие вещи были открыты случайно, причем прежде никто даже не подозревал об их существовании — примером тому могут послужить рентгеновские лучи, значение которых, впрочем, ученые очень быстро сумели оценить. Отсюда следует вывод: научная политика должна заключаться в установке самых общих задач и тенденций развития и оставлять при этом достаточно места для самоорганизации.

Одно из проявлений самой сущности самоорганизующихся систем состоит в том, что и формулировка цели постоянно претерпевает все новые изменения в соответствии с новыми условиями существования системы. В случае с наукой (и техникой, которую я всегда включаю в понятие «наука») это возможно только благодаря постоянному диалогу с обществом: каждая из сторон — и наука, и общество — является непременным условием существования другой стороны. Наука и общество существуют в истинном

симбиозе, которому необходимо содействовать повсюду, где это возможно. В ходе такого диалога происходит некоторое видоизменение общих (иногда даже слишком общих) целей, стоящих перед человечеством, и они начинают звучать, скажем, так: «Решить энергетическую проблему» или «Решить проблему рака». На примерах, описанных в этой книге, мы убедились в существовании проблем, не имеющих однозначных решений; в последней, заключительной, главе мы рассмотрим ситуации, когда проблема принципиально неразрешима (это, разумеется, ни в коем случае не означает, что таковыми являются упомянутые здесь энергетические проблемы или рак). Диалог между наукой и обществом становится тем более необходим еще и ввиду растущей враждебности, проявляемой людьми в отношении науки: для некоторых из них наука и техника таят в себе некую угрозу, только усугубляемую языковым барьером, выстроенным наукой, — из-за этого барьера образ мышления, намерения и влияние науки понятны и доступны далеко не каждому человеку. В итоге мы наблюдаем, как растет у людей ощущение того, что наука и техника используется исключительно для манипуляции ими и для подавления их свободы.

Конкуренция среди научных журналов

Принцип конкурентной борьбы, с примерами которой мы то и дело встречаемся в этой книге, идет ли речь о физике, об экономических науках или о социологии, действителен не только в научных кругах, но и среди, например, научных журналов. Для освещения событий, происходящих в новых областях науки, возникают новые журналы; в то же время приходят в упадок журналы уже существующие. При этом в равной степени важную роль играют и вопросы научного престижа, и экономические обстоятельства. Допустим, несколько журналов благодаря опубликованным в них работам значительных ученых приобретают бóльший вес в научных кругах, чем остальные издания. Именно в эти журналы и будет в результате поступать множество статей, претендующих на публикацию (и проходящих отбор у референтов). Таким образом, тиражи их растут, а вместе с этим происходит все более широкое распространение ставших престижными журналов. Однако финансовые возможности библиотек ограничены; это обстоятельство ведет к неизбежной гибели других изданий: в связи со снижением спроса на свои издания, издатели — во избежание окончательного экономического краха — вынуждены устанавливать для покупателей более высокие цены,

однако это лишь ускоряет гибель журнала, так как библиотеки оказываются и вовсе не готовы к тому, чтобы покупать те же журналы, но уже дороже.

Не менее важную роль (хотя часто ее недооценивают) в распространении научных журналов играет язык, на котором они публикуются. Прежде таким языком была латынь, затем в естественных науках это место занял немецкий язык, сегодня же языком мировой науки можно считать английский. При переходе от немецкого языка к английскому имел место «фазовый переход», который можно точно проследить во времени. В тридцатые годы из Германии эмигрировали многие значительные ученые, и их последующие работы, увидевшие свет в США и Великобритании, были написаны уже по-английски.

В больших странах — таких как США — даже не учитывая большого количества библиотек, контингент платежеспособных читателей весьма обширен, так что издательства могут издавать здесь свои журналы в очень благоприятных условиях и с большой эффективностью. Одновременно эти издатели получают возможность сотрудничества с целым рядом выдающихся ученых, а это приводит к тому, что их издания начинают играть на мировом рынке ведущие роли; с позиций синергетики это положение можно оценить таким образом: ведущие научные журналы берут на себя роль параметров порядка. С этим обстоятельством опять-таки связан колоссальный экспорт идей, следствием которого — как утверждают некоторые европейские ученые — является порой не совсем справедливая оценка действительной картины общемировой научной деятельности. Так, к примеру, некоторые результаты исследований европейских ученых не находят подлинного признания на родине, и в конце концов начинают казаться, что все научные достижения попадают к нам из США.

Достоин упоминания здесь и еще один феномен. Следовало бы считать, что ученые каждой отдельной страны должны в равной степени уделять внимание работам всех своих зарубежных коллег. Согласно моим личным наблюдениям, это отнюдь не так; существует некий уклон в направлении с востока на запад. Русские ученые оказываются на удивление хорошо осведомлены о работах своих западных (т. е. европейских и американских) коллег. Европейские ученые не так уж хорошо осведомлены о результатах исследований, проводимых в России, до определенной степени знакомы с работами европейских же ученых и очень хорошо — с публикациями из США. И наконец, американские ученые: все их внимание поглощено проводимыми именно в США исследованиями. Разумеется, я несколько утрирую; тем не менее, я думаю, со мной согласятся многие мои коллеги.

Синергетика о синергетике

Синергетика относится к числу тех немногих научных дисциплин, которые могут применить свои принципы к самим себе. Синергетика ведет себя совершенно аналогично возникшей в какой-то отдельной отрасли науки новой парадигме, в свете которой процессы, воспринимавшиеся до сих пор как различные, оказываются связаны неким единством: синергетика так же позволяет рассматривать с единых позиций явления совершенно различной, казалось бы, природы, до сих пор находившиеся под наблюдением различных же научных дисциплин. Когда я стоял у самых истоков синергетики, это дело казалось мне весьма отчаянным предприятием, в ходе которого очень легко потерять свое имя и репутацию в научном мире. На тот момент утверждение о существовании неких универсальных закономерностей, описанных в этой книге, представлялось смелым и даже рискованным. Однако вскоре пришло — «созрело» — время, когда идея синергетики оказалась признана, продвинулась и распространилась довольно широко. Так синергетика сама стала типичным примером возникновения новой науки.

При сравнении появления новой парадигмы, новой основополагающей идеи с физическим фазовым переходом возникает вопрос: а существуют ли и в духовной сфере «критические флуктуации» такого рода? Существуют ли и здесь флуктуации, сопровождающие — а возможно, и опережающие, предвещающие — «рождение» новой идеи, флуктуации, которые затем окажутся вытеснены или поглощены ею? Эти общие положения нашли блестящее подтверждение и в области самой синергетики как науки. Собственно, практически одновременно с синергетикой на свет появились еще две идеи, имевшие своей целью объединение всей науки. В первую очередь речь идет о теории катастроф, которая в общественном сознании связана с именем Рене Тома. В действительности же в создании этой теории принимали активное участие и другие математики — такие как Э. К. Зеeman, Т. Постон и В. И. Арнольд. Пожалуй, едва ли к какой-то другой математической теории нового времени лучше подходят строки Шиллера из «Лагеря Валленштейна»: «В истории приязнь или вражда его могучий образ искажают». Как же вообще могло случиться так, что математическая теория — кристально ясное, абстрактное уопостроение — оказалась связана с столь экспрессивным выражением? Начать следует несколько, может быть, издалека.

После того как теория катастроф получила широкое признание в математических кругах, на нее посредством публикаций научно-популярных статей в международных журналах было обращено внимание общественно-

сти. На сопровождающих текстах статей иллюстрациях были показаны всевозможные катастрофы: разрушенные пожаром или землетрясением дома, сошедшие с рельсов поезда и т. п. Неужели теперь в нашем распоряжении появилась теория, с помощью которой становится возможно предсказание таких катастроф? Для ответа на этот вопрос нам, по-видимому, придется еще более углубиться в предмет. Теория катастроф в рамках определенных математических уравнений занимается различными макроскопическими изменениями — в этом смысле теория катастроф очень похожа на синергетику, главным объектом исследований которой оказываются разного рода внезапно возникающие состояния. Так, к примеру, теория катастроф позволяет изучить, каким образом происходит разрушение моста при критических нагрузках — впрочем, инженеры пришли к тем же результатам и независимо от теории катастроф. Однако существует пункт, по отношению к которому мнения разделились: любая математическая теория, любая математическая теорема связаны с определенными условиями. Скажем, в начальной школе нас учат, что сумма всех углов в треугольнике равна 180 градусам. Позднее — в университете или же в старших классах — мы узнаем, что это связано с определенным условием, а именно — с аксиомами, лежащими в основе евклидовой геометрии. Если на поверхности шара (допустим, на глобусе) начертить треугольник из больших окружностей, то сумма его углов вовсе не обязательно будет равна именно 180 градусам. Аналогично обстоит дело и с теорией катастроф: она связана с так называемым потенциальным условием, подробнее останавливаться на котором мы сейчас не будем, так как объяснения могут оказаться слишком уж специальными. Однако для вынесения общего суждения все же важны два момента, которые и будут приведены.

Множеству математиков теория Тома так понравилась потому, что она была очень «красива», ведь Том должен был иметь весьма смутные предположения о потенциальном условии. С точки же зрения инженеров и естествоиспытателей теория катастроф во многих — и при этом важнейших — случаях (например для открытых систем) просто бесполезна, так как в этих случаях потенциальное условие вообще не выполняется. Можно доказать, что в открытых системах оно принципиально невыполнимо; иными словами, во всех открытых системах, а также в большинстве закрытых систем, природные процессы протекают в соответствии с совершенно иными, нежели постулируемые теорией катастроф, закономерностями.

Итак, теория катастроф поначалу была принята с восторгом, но затем вдруг подверглась резкой критике. Г. Б. Колата опубликовал на эту тему статью под названием «*The Emperor Has No Clothes*» — «А король-то голый!».

Название статьи — намек на известную сказку мудрого датского писателя Ханса Кристиана Андерсена (1805–1875). В этой сказке рассказывается о том, как к одному королю явились чужеземцы, утверждавшие, будто они умеют ткать чудесные ткани и шить из них прекрасные наряды, которые обладают волшебным свойством быть невидимыми для глупцов. И вот ловкие ткачи начинают «ткать» — да только ткань при этом никто не видит, хоть и не решается признаться в этом, опасаясь прослыть глупцом. Наконец состоялось большое шествие, в котором принимал участие и сам король в своем новом «платье», и все вокруг дивились и восторгались красотой этого наряда (кстати, эту сказку можно считать вкладом Андерсена в изучение темы «общественное мнение»). Восторги длились до тех пор, пока какой-то мальчишка не выкрикнул: «А король-то голый!»

Атака на теорию катастроф, предпринятая как Г. Б. Колатой, так и Х. Й. Зусманом и Р. С. Цалером, вызвала шквал негодования со стороны тех, кто эту теорию применял, что и нашло свое отражение в многочисленных письмах-статьях в журналы, опубликовавшие в свое время статью Колаты. Сегодня в основном преобладает сдержанный научный подход, пусть даже поначалу это и не бросается в глаза — мы наблюдаем здесь знакомое нам по фазовым переходам медленное затухание критических флуктуаций. На данный момент в среде ученых все более утверждается мнение — своего рода коллективное осознание — о том, что теория катастроф применима лишь в ограниченной и очень специальной области. Вдобавок ко всему, сам Том отрицает существование флуктуаций. Высказав это мнение на одном из организованных мною симпозиумов по синергетике, Том столкнулся с явным недоумением, возникшим среди физиков; из примеров, приведенных в этой книге, становится совершенно ясно, что флуктуации зачастую играют главную роль во многих синергетических процессах.

Еще одна интересная попытка унификации научного подхода к исследованиям природы была предпринята Ильей Пригожиным, и в основе ее лежали результаты изучения Пригожиным химических и биологических процессов. Пригожин различал при этом два типа структур: такие, что, возникнув, сохраняются и без дальнейшего притока к ним энергии извне (например, кристаллы), и такие, которые продолжают свое существование лишь до тех пор, пока извне поступает энергия, а в некоторых случаях и материя. Примером последнего типа могут служить ячеистые структуры, образующиеся в слое жидкости, постоянно подогреваемой снизу (такие структуры были описаны в четвертой главе). Непрерывно подводимая к жидкости тепловая энергия частично преобразуется в энергию движения

гексагональных ячеек. Структуры же, возникающие в жидкости, достигают стабильного, устойчивого состояния, поскольку движение ячеек сопровождается постоянными потерями энергии вследствие трения; происходит «рассеяние» энергии, или — говоря на языке науки — диссипация энергии. Для обозначения таких структур Пригожин использовал термин «диссипативные структуры».

Образование диссипативных структур должно происходить в соответствии с определенным универсальным принципом. Этот принцип, установленный П. Глансдорфом и И. Пригожиным, описывает, каким образом на микроскопическом уровне диссипативные процессы приводят к росту энтропии, или, иначе, к хаосу. Как показали исследования, проведенные Рольфом Ландауэром и Рональдом Ф. Фоксом, принцип этот, к сожалению, не универсален, и кроме того, не всегда согласуется с так называемой функцией Ляпунова. (Смысл этой функции, кстати, очень легко представить: подобно потенциальному ландшафту, по которому катается шарик, символизирующий состояние системы, функция Ляпунова показывает, стремится ли рассматриваемая система к устойчивому состоянию.) Хотя это обстоятельство, пожалуй, может представлять интерес только для экспертов, можно взглянуть на проблему и с другой стороны: описываемый принцип оказывается не в состоянии предсказать, какие именно «диссипативные структуры» могут возникнуть в том или ином конкретном случае; принцип этот не смог дать прогноза ни относительно свойств лазерного света, ни относительно формы ячеек Бенара — уже не раз упоминавшихся нами гексагональных структур, возникающих в нагреваемой снизу жидкости. Сделать такой прогноз удается лишь с помощью математических методов, используемых в синергетике (или даже специально для этой цели разработанных).

Больших успехов добились ученые, следующие другим путем, также проложенным представителями брюссельской школы Пригожина. Суть его заключается в математической формулировке и разработке химической модели, содержащей механизмы для запуска макроскопических колебаний концентрации двух веществ, а также их пространственных структур. В рамках этой модели два химических вещества должны вступать в реакцию друг с другом согласно определенным правилам и диффундировать в одном либо в двух измерениях (как на промокательной бумаге), аналогично тому, как это происходит в модели Гирера и Мейнхардта, уже обсуждавшейся нами ранее в связи с биологическим морфогенезом. Обе эти модели можно рассматривать как существенно расширенную модель Тьюринга, речь о которой шла в шестой главе. Модель Тьюринга призвана была описать

течение химической реакции, обеспечивающей такой обмен веществ между двумя клетками, который приводил бы к «клеточной дифференциации». Что же касается дальнейших работ представителей брюссельской школы, то они в целом приняли направление, в котором с самого начала велись синергетические исследования, например, того же лазера.

После выхода в свет первого издания этой книги возникли и другие области исследований, сопряженных с синергетическими, а с ними — новые названия. Кстати, о названиях: когда факт появления нового научного направления проникает в сознание большинства ученых (и тем более — когда добирается до сознания общественности), начинается своего рода конкурентная борьба новых названий. Прежде всего, безусловно, следует упомянуть о таком «детище науки», как теория хаоса. Зачастую к теории хаоса относят буквально все, что прежде разрабатывалось в рамках синергетики, и в частности — закономерности процессов самоорганизации. Однако мы уже имели возможность убедиться в том, что теория хаоса изучает только совершенно определенный пласт феноменов, связанных с самоорганизацией. Поскольку при самоорганизации наиважнейшую роль играет нелинейное взаимодействие, синергетику (и не только ее) именуется «нелинейной динамикой» или даже «теорией динамических систем», хотя при этом оказываются «свалены в одну кучу» совершенно различные понятия. К примеру, теория динамических систем полностью игнорирует флуктуации, имеющие для синергетики ключевое значение. В целом же ситуация напоминает одну из описанных нами выше: некая фирма, выпустив на рынок совершенно новый и к тому же удачный продукт, неожиданно для себя вдруг обнаруживает существование фирм-конкурентов.

ГЛАВА 19

ИТОГИ

Новый принцип

Читатель, добравшийся вместе с нами до этой главы, уже оставил позади себя большую часть пути: наша книга подходит к концу. В самом начале мы сравнивали комплексные системы именно с книгой; книга имеет множество аспектов, и то, что один из них будет воспринят как характеристическое свойство всей комплексной системы, часто в очень значительной степени зависит от субъективной установки наблюдателя. Именно в таком положении и находится читатель, у которого в процессе чтения этой книги складывалось определенное о ней представление. Он ознакомился с рядом фактов из различных областей, и некоторые из них, возможно, в той или иной степени заинтересовали его; вероятно, отдельные выводы — особенно касающиеся экономической и социологической сфер — были приняты с воодушевлением, другие же оказались решительно отклонены. Однако все эти отдельные впечатления еще не являются ответом на вопрос, всегда встающий перед ученым: останутся ли отдельные факты всего лишь разрозненными элементами рассыпанной мозаики, или же они сложатся в единую, целостную картину? Иными словами, окажется ли данная книга в состоянии передать всем своим читателям новое видение, новый взгляд на мир? Для ответа на этот вопрос обратимся сначала к естественнонаучным областям — физике, химии, биологии и родственным им дисциплинам.

Мы уже упоминали о трудностях, с которыми еще совсем недавно сталкивались физики при ответе на вопрос, согласуется ли процесс развития биологических структур с основополагающими физическими принципами. На ряде конкретных примеров мы видели, что и в мире неживой природы могут возникать такие структуры, существование которых поддерживается постоянным притоком энергии извне: мы говорили о лазере, испускающем строго упорядоченные световые волны определенной длины, о ячеистых

структурах, образующихся в жидкостях, и о химических спиральных волнах. Все эти примеры представляют собой системы, нуждающиеся в постоянном притоке энергии (а в отдельных случаях и материи), которая преобразуется внутри системы и в преобразованном виде выделяется наружу. Все описанные системы относятся к так называемым открытым системам.

Здесь и выходят на сцену открытия, сделанные синергетикой. На открытые системы не распространяется принцип, согласно которому при предоставлении такой системы самой себе хаос в ней будет постоянно расти. Принцип Больцмана, касающийся энтропии как меры хаоса, стремящейся достичь своего максимума, оказывается верен только для закрытых систем. Как было показано в двенадцатой главе, где речь шла о сущности хаоса, в случае закрытой системы рост энтропии зависит только от количества возможностей, которые может реализовать система — например, от числа различных положений молекул газа в системе, которая представляет собой емкость, наполненную газом. Поскольку для каждой системы существует совершенно определенное число таких положений, принцип Больцмана является *статическим*. Существуют ли общие принципы возникновения структур в открытых системах? На решение именно этой проблемы и направлены прежде всего синергетические исследования. Множество отдельных элементов открытой системы задействованы в процессе постоянного тестирования различных возможностей, предоставляемых им системой, пробуя при этом все новые и новые типы движения или реакции. Под воздействием непрерывно поступающей энергии (или же энергии и вещества) один или несколько типов такого коллективного движения или коллективной реакции оказывается предпочтительнее других; именно эти формы движения или типы реакций становятся преобладающими в системе. Постепенно происходит подавление — или, говоря языком синергетики, подчинение — ими всех прочих форм движения или типов реакций. Подчиняющие себе всю систему типы движения или реакций называются также модами; они проявляются в явных и отчетливо наблюдаемых изменениях макроскопической структуры системы. Состояния, достигаемые системой в результате возникновения новых мод, представляются нам, как правило, состояниями более высокой степени упорядоченности. Таким образом, рассмотренный принцип возникновения структур в открытых системах является принципом динамическим, поскольку определяется скоростью роста мод. Успеха добиваются, как правило, те моды, чья скорость роста выше; они же определяют макроскопическую структуру. В том случае, если несколько мод (называемых также параметрами порядка) имеют равную скорость роста, они могут

при известных условиях объединиться друг с другом «на кооперативных началах», что в итоге приводит к возникновению опять-таки совершенно новой структуры. Добиться того, чтобы скорость роста той или иной моды стала положительной (а в природе возможны случаи, когда эта скорость равна нулю или отрицательна), приток энергии в систему должен быть достаточно велик. При достижении определенных критических значений поступающей энергии общее макроскопическое состояние системы может измениться за счет возникновения иного типа упорядоченности. В этих случаях Природа использует поступающую в систему энергию, руководствуясь своего рода правилом рычага — тем самым правилом из механики, в соответствии с которым мы можем, верно рассчитав длину плеча рычага и располагая лишь ограниченной подъемной силой, поднять большой вес. Аналогичным образом поступает и Природа при создании структур в открытых системах.

Влияние незначительных изменений внешних условий — например увеличение мощности накачки в лазере или повышение температуры нагревания слоя жидкости — увеличивается за счет того, что при этом становится сильнее некая определенная форма движения. Можно доказать математически, что подобное усиление моды играет в этом случае роль плеча рычага, а изменение внешних условий соответствует силе, приложенной к этому плечу; изменение же макроскопического состояния системы, переходящей на более высокий уровень упорядоченности, можно в данном контексте представить как поднимаемый груз.

От неживой природы к природе живой

Цели синергетики не ограничиваются только поиском общих закономерностей, действующих в мире неживой природы; синергетика стремится еще и «навести мосты» между неживой и живой природой. Этому особенно способствуют два обстоятельства: в живой природе мы имеем дело, во-первых, исключительно с открытыми системами, а во-вторых, с конкуренцией мод. Начнем с последнего. Допуская, что различная скорость роста отдельных коллективных форм движения (иными словами, мод) является фактором, определяющим то, какая именно структура возникнет в результате, мы тем самым подразумеваем, что между различными формами движения существует постоянная конкуренция. Эта идея весьма схожа с основной идеей дарвинизма, распространяющейся на мир живой природы, — идеей, согласно которой межвидовая конкурентная борьба является двигателем

эволюционного развития. Совершенно ясно, что дарвинизм представляет собой лишь частный случай более общего принципа. Конкуренция существует и в мире неживой материи; согласно современным научным представлениям, процессы, демонстрирующие проявления подобного рода конкуренции, играют, помимо прочего, определенную роль в росте и развитии любого живого существа, и это в равной степени относится как к морфогенезу, так и к развитию мозга. Принцип конкуренции различных типов коллективного поведения распространяется не только на мир неживой материи и живой природы, но и на сферу духовной деятельности людей, в чем мы могли убедиться на примерах из социологии. Этот же принцип оказывается справедлив и для мира науки: его действие распространяется на новые научные идеи, пребывающие в состоянии постоянного противоборства друг с другом и имеющие возможность развиваться лишь благодаря коллективным усилиям множества ученых, коллективному сознанию научного сообщества.

Теперь перейдем к более подробному рассмотрению первого из названных нами в этом разделе пунктов — открытых систем, в которых возможно возникновение самых разнообразных структур, принадлежащих как неживой, так и живой природе.

Лед, пламень и жизнь между ними

Существование пламени, воплощенного в нашем случае в Солнце, и ледяного холода космического пространства означает, что Вселенная отнюдь не пребывает — и никогда не пребывала — в состоянии теплового равновесия. Согласно нашим сегодняшним представлениям, Вселенная, возникшая в результате Большого Взрыва, хотя и была сначала немислимо раскаленным огненным шаром, в процессе дальнейшего расширения все же остывала; мир с самого начала был устроен таким образом, что в нем сосуществовали чудовищный жар и столь же чудовищный холод. Жизнь возникла где-то между льдом и пламенем, и возможность ее дальнейшего существования в том виде, в каком мы ее знаем, зависит от того, насколько долго удастся Вселенной поддерживать существование этих двух противоположностей. Думается, данную тему еще ни в коем случае нельзя считать закрытой: согласно последним данным современной астрофизики, будущее у нашей Вселенной, безусловно, есть; правда, сама Вселенная отнюдь не всегда дружелюбно настроена по отношению к жизни как таковой. Так, к примеру, наше Солнце однажды — в отдаленном, впрочем, будущем — может взорваться, превратившись при этом в красный гигант. Во Вселенной могут образовываться

так называемые черные дыры, с непреодолимой силой притягивающие и поглощающие любые виды приближившейся к ним материи; однако и черные дыры не вечны. Всевозможные переходы и преобразования энергии приведут к ее постепенному «выгоранию», вследствие чего в мировом пространстве в конечном счете не останется иной материи, кроме гигантских ледяных шаров, лишенных какой бы то ни было жизни. Естественно, в основе подобных картин будущего Вселенной лежит несколько более или менее произвольных допущений. Во-первых, предполагается, что наш мир продолжает расширяться: модель расширяющейся Вселенной с научной точки зрения весьма хорошо обоснована. Идея, на которой основывается эта модель, чрезвычайно проста и связана с так называемым разбеганием спиральных туманностей; сам факт разбегания подтверждается наличием в спектрах этих туманностей красного смещения. Феномен красного смещения хорошо известен физикам: если находящееся в состоянии покоя тело излучает свет с частотой, относящейся к желтой области спектра, то при удалении от наблюдателя излучаемый телом свет сместится в сторону красной области. Астрономы уже давно обнаружили, что чем дальше от нас галактика, тем более «красной» она кажется при наблюдении. На основании этих наблюдений был сделан вывод о том, что галактики продолжают удаляться от нас и друг от друга (т. е. «разбегаться»), и скорость разбегания их тем выше, чем дальше они находятся. Отсюда следует, что Вселенная постоянно расширяется. Однако будет ли это расширение продолжаться вечно? Вполне возможен сценарий, в котором расширяющееся движение однажды прекратится, после чего начнется противоположный процесс — процесс сжатия Вселенной. Вероятно, это может привести к образованию нового раскаленного огненного шара, и цикл начнется сначала — вообще говоря, не исключено и вечное повторение такого цикла. Можно даже предположить (хотя теоретически это пока еще мало обосновано), что в самой Вселенной непрерывно происходят какие-то процессы, подобные Большому Взрыву, только в меньших масштабах, что и обеспечивает постоянное возникновение новых источников энергии. Подобная гипотеза представляется мне не более спекулятивной, нежели та, что грозит Вселенной финалом в виде холодного шара мертвой материи.

Еще одно характерное свойство жизни

Если жизнь становится возможной где-то на грани между льдом и пламенем космоса, естественно возникает вопрос о том, не может ли она

существовать и на других планетах, и в первую очередь, конечно, на планетах, похожих на нашу. Учитывая, что уже неживая природа демонстрирует нам, на какое многообразие форм коллективного движения она способна, мы можем дать волю воображению, представляя себе совершенно иные формы жизни. Здесь можно вспомнить и о том, например, что Солнце состоит из плазмы, в которой протекают сложнейшие процессы коллективного движения, называемого солнечной активностью. Не могут ли процессы такого рода в конечном счете обладать свойствами, сходными со свойствами, характеризующими жизнь? Хотя, по-видимому, полностью исключить подобные допущения нельзя, все же жизни на Земле, по-видимому, присуще еще кое-что, чем не обладают открытые системы, наблюдаемые в неживой природе. Отсутствие притока энергии в виде, скажем, накачки лазера или нагревания слоя жидкости, очень быстро приводит к разрушению возникающих в этих системах структур. Живые существа обладают структурой более прочной, причем прочность, например, скелета или тела как такового обеспечивается биомолекулами — такими, как ДНК. Природе, иными словами, удалось «зафиксировать» процессы морфогенеза в виде жестких структур, и это дает возможность перехода с одного уровня развития на другой всем живым существам — как отдельным организмам, так и совокупностям их. Мне кажется, что именно в этой области на стыке между жесткостью структур и функциями, ими выполняемыми и позволяющими им образовываться вновь и вновь, — именно здесь и ждет ученых колоссальная исследовательская работа, и результатом этой работы, возможно, окажется открытие еще более фундаментальных принципов, о существовании которых сегодня мы вряд ли даже подозреваем.

Границы познания

Мы имели возможность убедиться в том, что в развитии структур синергетикой обнаружен целый ряд закономерностей, распространяющих свое действие на совершенно различные области.

Определенные упорядоченные состояния непрерывно разрастаются, и рост этот продолжается до тех пор, пока все элементы системы не окажутся подчинены и приведены к новому состоянию упорядоченности. Часто окончательный выбор между равноценными упорядоченными состояниями происходит благодаря возникновению непредсказуемых флуктуаций; то же явление наблюдается и в духовной сфере деятельности.

Развитие, протекающее согласно описанным закономерностям, мы рассматривали на примере процессов, имеющих место и в языке, и в искусстве, и в культуре, и в мышлении вообще. Внезапно возникающее при этом новое состояние упорядоченности подобно тому, что возникает при появлении картинки, собираемой из отдельных фрагментов, в результате добавления одного-единственного элемента; возникшее столь неожиданно состояние характеризуется еще и более высокой степенью упорядоченности или — если речь идет о духовной сфере — понимания и осознания. В естественно-научной и технической сферах мы во многих случаях имеем возможность заранее просчитать ожидаемые упорядоченные состояния; в сферах же, связанных с духовной деятельностью человека, это практически невозможно. И все-таки нам известно, что и там, и тут действуют качественно схожие закономерности.

Поскольку все в конечном счете состоит из материи, а законы самоорганизации — как мы теперь знаем — не только не противоречат законам физики, но и гармонично сочетаются с ними, наиболее актуальным становится принципиальный вопрос о необходимости участия во всем этом некоего Создателя. Здесь каждый из нас оказывается на перепутье: решение относительно веры в существование такого Создателя зависит только от нашего собственного выбора. Кто-то скажет: любые процессы развития могут быть объяснены — по крайней мере, в принципе — с позиций материализма, и в этом случае все сущее возникло благодаря самоорганизации. Другой вспомнит о том, что, скажем, при конструировании компьютеров наиболее сложным делом оказывается разработка основополагающих установок и правил, обеспечивающих затем процессы самоорганизации в машине.

Иными словами, существует и такое соображение: после того, как все возникло в природе столь удивительным образом, существование Творца необходимо для того, чтобы создать те законы, в соответствии с которыми материя сможет осуществить самоорганизацию.

Одновременно может быть выдвинута и еще одна точка зрения, ни разу не покидавшая страниц этой книги и заключающая в себе нечто тревожное. При возникновении новых упорядоченных состояний мы снова и снова имеем дело со случайными событиями; часто именно они и определяют окончательно возможность возникновения того или иного состояния. Мы сталкиваемся здесь с целым комплексом почти совершенно неисследованных проблем; можем ли мы утверждать, что наблюдаемые в лазере колебания суть проявление случайности, в то время как в процессе возникновения и развития определенных биомолекул задействованы совершенно иные силы?

Итак, мы добрались до первой границы познания, являющейся, с моей точки зрения, границей принципиальной. Становится совершенно ясно, что в науке (и, пожалуй, особенно ярко это проявляется в социологии и философии) существуют проблемы, не имеющие однозначных решений или же не имеющие решений в принципе. Этот факт может одновременно поражать и шокировать, но математику Курту Гёделю (1906–1978) удалось показать, что даже в области чистой математики существуют задачи, о которых принципиально невозможно сказать, имеют ли они решение — точнее говоря, задача об их решении не имеет решения.

Если интуитивно распространить результаты подобных изысканий и выводы, сделанные из них математиками, на другие отрасли знания, то мы приходим к заключению о существовании таких вопросов, ответить на которые мы принципиально не можем. Кто-то из молодых читателей, вероятно, окажется разочарован; в утешение могу добавить, что помимо упомянутых неразрешимых проблем существует еще невообразимое множество других — таких, что могут и должны быть решены во имя дальнейшего развития и процветания человечества.

Приложение

Список литературы и примечания

Поскольку синергетика является междисциплинарным научным направлением, то число работ, которые имеют отношение к рассматриваемым синергетикой проблемам, почти необозримо, а потому не может быть полностью приведено в книге, которая — подобно нашей — рассчитана на самый широкий круг читателей. По этой причине в дальнейшем я ограничусь ссылками только на некоторые из существующих источников: во-первых, мною отобраны работы, результаты которых были использованы при написании настоящей книги, а во-вторых, в список вошла литература, предназначенная для читателя, заинтересовавшегося проблемами синергетики и желающего более подробно в них разобраться. Ссылки распределены в соответствии с отдельными главами книги.

1. Предисловие, Введение и Обзор

M. Eigen, R. Winkler-Oswatitsch. Das Spiel, Piper, München, 1975.

Термин «синергетика» был впервые использован мною в лекции, прочитанной в Штутгартском университете, в зимнем семестре 1969 года; кроме того, можно обратиться к книге

H. Haken, R. Graham. Synergetik. Die Lehre vom Zusammenwirken, Umschau 6, 191 (1971).

Научное представление синергетики состоялось в моей монографии

H. Haken. Synergetics. An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions in Physics, Chemistry and Biology, 3., erw. Aufl., Springer, Berlin, 1983 (первый том в серии Springer Series in Synergetics), или та же книга, вышедшая на немецком языке:

Synergetik. Eine Einführung. Nichtgleichgewichts-Phasenübergänge und Selbstorganisation in Physik, Chemie und Biologie. Springer, Berlin, 1990.

Ряд аспектов обсуждался ведущими учеными в ходе конференций. Материалы этих конференций опубликованы:

Synergetics. Cooperative Phenomena in Multi-Component Systems, hg. von H. Haken, Teubner, Stuttgart, 1973;

Cooperative Effects. Progress in Synergetics, hg. von H. Haken, North Holland, Amsterdam, 1974.

Кроме того, в издательстве Springer на данный момент вышли в свет 63 тома серии, посвященной проблемам синергетики.

Точное математическое определение используемого мною понятия «параметр порядка», а также математически точное изложение принципа подчинения можно найти в книгах

H. Haken. Synergetics. An Introduction. . ., а также *Advanced Synergetics*, 3rd print. Springer, Berlin, 1993.

2. Тепловая смерть Вселенной

L. Boltzmann. Entropie-Verteilungsfunktion, Sitzungsber. Akad. Wien 63, 712 (1871).

3. Кристаллы: упорядоченные, но неживые структуры

Введение в физику твердого тела: общедоступное изложение основ можно найти в книге

H. Pick. Einführung in die Festkörperphysik, Wiss. Buchgesellschaft. Darmstadt, 1978.

О фазовых переходах:

H. E. Stanley. Phase Transitions and Critical Phenomena, Clarendon, Oxford, 1971;

L. D. Landau, E. M. Lifschitz. Lehrbuch der Theoretischen Physik, Bd. 5, Statistische Physik Teil 1, 8. Aufl., Akademie Verl. Berlin, 1987;

W. A. Benjamin. Modern Theory of Critical Phenomena, London, 1977;

N. Goldenfeld. Lectures on Phase Transitions and the Renormalization Group, Addison-Wesley, 1992;

A. K. Jena. Phase Transformation in Materials, Prentice Hall, 1992.

4. Ячеистые структуры в жидкости, облачные узоры и геологические формации

Возникновение различных форм движения в слое нагреваемой снизу жидкости впервые было описано Бенаром:

H. Bénard. Rev. Gen. Sci. Pures. Appl. **12**, 1261 (1900), а также

H. Bénard. Anns. Chim. Phys. **23**, 62 (1901).

В последние годы эта область исследований вновь становится популярной. Результаты экспериментов Буссе, Голлуба, Кошмидера, Суинни и других ученых опубликованы в серии Springer Series in Synergetics, во втором и пятом томах. Теория в рамках синергетики изложена в уже упоминавшейся книге *H. Haken*. Synergetics. . .

О дрейфе континентов:

H. Berckheimer. Vortrag auf der III. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, Hamburg, 1980;

Новая литература о структурах, образующихся в жидкости:

R. Friedrich, A. Wunderlin (eds.). Evolution of Dynamical Structures in Complex Systems, Springer, Berlin, 1992.

5. Да будет свет — лазерный свет

Принцип действия лазера:

A. L. Schawlow, C. H. Townes. Phys. Rev. **172**, 1940 (1958).

Независимо друг от друга разработками в этой области занимались несколько групп:

J. P. Gordon, H. J. Zeiger, C. H. Townes. Phys. Rev. **95**, 282 (1954) и **99**, 1264 (1954);

N. G. Basov, A. M. Prokhorov. J. Exptl. Theor. Phys. USSR **27**, 431 (1954) и **28**, 249 (1955);

Нобелевскими лауреатами 1964 года стали Басов, Прохоров, Таунс.

В первом лазере был использован рубин:

T. H. Maiman. Brit. Commun. Electr. **7**, 674 (1960); Nature **187**, 493 (1960).

Статистическая нелинейная теория лазерного света:

H. Haken. Z. Physik **181**, 96 (1964).

А кроме того,

H. Haken. Laser Theory: Handbuch der Physik XXV/2c, Springer, Berlin, 1970;

H. Haken. Licht und Materie, Bibliographisches Institut, Mannheim, 2. Aufl., 1994.

Лазерный фазовый переход:

R. Graham, H. Haken. Z. Physik **213**, 420 (1968) и **237**, 31 (1970);

V. DeGiorgio, M. O. Scully. Phys. Rev. A **2**, 1170 (1970).

6. Химические структуры

О химических колебаниях (химических часах) уже в 1921 году вышла работа

C. H. Bray. *J. Am. Chem. Soc.* **43**, 1262 (1921).

Математическая теория химических колебаний изложена в работе *K. F. Bonhoeffer*. *Z. Elektrochemie u. angewandte physikalische Chemie* **51**, 24 (1948).

Реакция Белоусова — Жаботинского:

Б. П. Белоусов. Сборник рефератов по радиационной медицине за 1958 г. М.: Медгиз, 1959;

В. А. Вавилин, А. М. Жаботинский, Л. С. Ягужинский. В сб.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. М.: Наука, 1967. С. 181.

Более поздние работы по этой тематике представлены в книге

A. S. Michailov. *Foundations of Synergetics I, Distributed Active Systems*, Springer, Berlin, 1990.

Общедоступным языком основы изложены в работе

A. T. Winfree. *Science*, **175**, 634 (1972), а также *Sci. Am.* **230**, 82 (1974).

7. Биологическая эволюция: выживает сильнейший

По вопросу о научном приоритете в деле открытия эволюционных законов нами использованы материалы из следующего источника

R. K. Merton. *The Sociology of Science*, The University of Chicago Press, Chicago, 1973.

Оригинал работы Дарвина и Уоллеса был озаглавлен так:

On the Tendency of Species to Form Varieties and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection, by C. Darwin and A. R. Wallace. Communicated by Sir C. Lyell and J. D. Hooker, *Journal of the Linnean Society* **3** (1859); 45. Read, 1. July, 1858.

Рамки данной книги не позволяют нам подробнее рассмотреть ни вопросы, касающиеся влияния теоретических построений дарвинизма на общественные науки, ни критику социального дарвинизма. Укажем, для придела, книгу

B. R. Hofstadter. *Social Darwinism in American Thought*, Braziller, New York, 1959.

Конкурентная борьба, возникающая между волнами различной длины в лазере, описана в работе

- H. Haken, H. Saueremann. Z. Physik* **173**, 261 (1963).
Конкуренция биомолекул, пребиотическая эволюция:
M. Eigen. Die Naturwissenschaften **58**, 465 (1971);
M. Eigen, P. Schuster. Die Naturwissenschaften **64**, 541 (1977), а также:
65, 7 (1978); **65**, 341 (1978);
M. Eigen, W. Gardiner, P. Schuster, R. Winkler-Oswatitsch. The Origin of Genetic Information, Scientific American **244**, April 1981, p. 78.
M. Eigen. Stufen zum Leben, Oxford University Press, 1992.
M. Eigen. Virus-Quasispezies oder die Büchse der Pandora, Spektrum der Wissenschaft, Dez. 1992. S. 42–55.

8. Как выжить, не будучи сильнеешим? — создай собственную экологическую нишу

- V. Volterra. Mem. Acad. Lincei* **2**, 31 (1926);
A. J. Lotka. J. Wash. Acad. Sci. **22**, 461 (1932).
Математические модели нерегулярных колебаний для популяций насекомых даны по работе
R. M. May. Model Ecosystems. Princeton Univ. Press, Princeton, 1974.

9. Формирование биологических организмов

Общедоступным языком материал (включая историю открытия ДНК) изложен в книге, написанной самим Дж. Д. Уотсоном:

- J. D. Watson. Die Doppelhelix, Rowohlt Taschenbuch, Hamburg, 1973.*
О миксомицетах:
G. Gerisch, B. Hess. Proc. nat. Acad. Sci. **71**, 2118 (1974);
а доказательство существования спиральных волн:
K. J. Tomchik, P. N. Devreotes. Science **212**, 443 (1981).
Модель клеточной дифференциации дана Тьюрингом:
A. M. Turing. Phil. Trans. R. Soc. London **5237**, 37 (1952).
Детальная модель образования биологических структур, основанная на реакции и уравнениях диффузии, разработана А. Гирером и Г. Мейнхардтом:
A. Gierer, H. Meinhardt. Kybernetik **72**, 30 (1972).
Рассмотрение этой модели в рамках понятий синергетики:
H. Haken, H. Olbrich. J. Math. Biol. **6**, 317 (1978).
Экспериментальное доказательство существования активаторов и ингибиторов на примере гидры:

Tobias Schmidt, Cornelius J. P. Grimmelikhuijzen, H. Chica Schaller. В сб.: *Developmental and Cellular Biology of Coelenterates*, hrsg. von P. Tardent, R. Tardent, Elsevier/North Holland Biochemical Press, 1980, S. 395.

Роль фактора роста (для нервных клеток):

R. Levi-Montalcini, P. Calissano. The Nerve-Growth Factor, *Sci. Am.* **240–6**, 44 (1979).

О морфогенезе:

H. Meinhardt. *Models of Biological Pattern Formation*, Academic Press London, 1982.

10. Биологические паттерны движения

Эксперименты:

J. A. S. Kelso. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, **15**, R1000–R1004 (1984).

J. A. S. Kelso, J. P. Scholz, G. Schöner. Nonequilibrium Phase Transitions in Coordinated Biological Motion: Critical Fluctuations, *Physics Letters A*, **118**, 6 (1986).

Теория:

H. Haken, J. A. S. Kelso, H. Bunz. A Theoretical Model of Phase Transitions in Human Hand Movement, *Biol. Cybern.*, **51**, 347–356, (1985).

G. Schöner, H. Haken, J. A. S. Kelso. A Stochastic Theory of Phase Transitions in Human Hand Movement, *Biol. Cybernetics*, **53**, 247–257 (1986).

Дополнительная литература:

E. von Holst. *Zur Verhaltensphysiologie bei Tieren und Menschen, Gesammelte Abhandlungen*, Band I, München, 1969.

H. Haken, M. Haken-Krell. *Entstehung von biologischer Information und Ordnung*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1989.

11. Неизбежность конфликтов

Психологические тесты можно найти, к примеру, в следующих книгах:

J. G. Howeller, J. R. Lickorish. *Familien-Beziehungs-Test*, Ernst Reinhardt Verlag, München/Basel, 1975.

S. Rosenzweig. *Aggressive Behaviour and the Rosenzweig Picture Frustration Study*, Praeger, New York, 1978.

B. Bettelheim. *Erziehung zum Überleben*, DVA, Stuttgart, 1980.

B. A. Hubermann, N. S. Glance. The Dynamics of Social Dilemmas, *Scientific American*. **270**, 3, p. 58–63 (1994).

12. Хаос, случайность и механистическая картина мира

- О философских основах квантовой теории
C. F. von Weizsäcker. Zum Weltbild der Physik, Hirzel, Leipzig, 1945 или Stuttgart, 1970;
C. F. von Weizsäcker. Die philosophische Interpretation der modernen Physik, Nova Acta Leopoldinae, Barth, Leipzig, 1972;
W. Heisenberg. Der Teil und das Ganze, Piper, München, 1969.
Хаотические формы движения жидкости:
E. N. Lorenz. J. Atmos. Sci. **20**, 130 (1963).
Хаотические явления в ходе реакции Белоусова — Жаботинского:
O. E. Roessler. Z. Naturforschg. **31a**, 259 (1976), а также *Bull. Math. Biol.* **39**, 275 (1977).
Хаотические явления в биологии:
R. M. May. Model Ecosystems, Princeton Univ. Press, Princeton, 1974.
Хаотические формы движения в небесной механике:
H. Poincaré. Les Methodes Nouvelles de la Méchanique Céleste, Reprint Dover, New York, 1957.
Обзорная работа, в которой рассматриваются характерные примеры проявления хаоса:
S. Großmann. Vortrag auf der 111. Tagung Deutscher Naturforscher und Ärzte, Hamburg, 1980.
О получении энергии посредством ядерного синтеза:
H. Zwicker. Kernfusion als mögliche Energiequelle der Zukunft. В сб.: *Brennpunkte der Forschung*, hrsg. von W. Weidlich, DVA, Stuttgart, 1981.

13. Теория хаоса: взгляд за кулисы

Литература, посвященная теории хаоса, весьма обширна. В качестве примера рекомендуем:

- D. Ruelle. Zufall und Chaos*, 2. Aufl., Springer, Berlin, 1994, а также
H. G. Schuster. Deterministisches Chaos: Eine Einführung, 1. Aufl., VCH Weinheim, 1994.
R. Leven, B. P. Koch, B. Pompe. Chaos in dissipativen Systemen, 2. Aufl., Akademie Verl., Berlin, 1994.
R. Worg. Deterministisches Chaos: Wege in die nichtlineare Dynamik, BI-Wiss.-Verl., Mannheim, 1993.
I. Stewart. Spielt Gott Roulette?: Chaos in der Mathematik, Birkhäuser Verl., Basel, 1990.

H. Jürgens, H.-O. Peitgen, D. Saupe. Chaos und Fraktale, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg, 1989.

W. Ebeling. Chaos, Ordnung und Information, Urania-Verl., Verl. H. Deutsch, Leipzig/Frankfurt/M., 1989.

14. Синергетические эффекты в экономике

Об «экономическом процветании и экономических депрессиях», о «технических новшествах» и т.п.

Рассматриваемая нами в данной книге модель разработана Герхардом Меншем, Клаусом Каашем, Альфредом Кляйнкнехтом и Райнхардом Шноп-пом:

G. Mensch, K. Kaasch, A. Kleinknecht, R. Schnopp. IIM/dp 80–5, Innovation Trends, and Switching between Full- and Under-Employment Equilibria, 1950–1978, Discussion paper series, International Institute of Management, Wissenschaftszentrum Berlin.

В настоящей книге изложены мои замечания по поводу доклада Г. Менша, прочитанного им в Штуттгартском университете (летний семестр 1980 года). Некоторые из сделанных мною выводов отличаются от выводов, приводимых в цитируемой работе.

О новых областях применения синергетики:

Wei-Bin Zhang. Synergetic Economics, Springer, Berlin, 1991.

Интересная и содержательная книга о применении синергетики в промышленности (на примере автомобилестроения):

Ruth Beisel. Synergetik und Organisationsentwicklung, Rainer Hampp, München Verlag und Mering, 1994.

15. Предсказуемы ли революции?

Isaac Asimov. The Foundation, Avon Books, New York 1964.

Целым рядом цитат я обязан книге Э. Ноэль-Нейман:

Elisabeth Noelle-Neumann. Die Schweigespirale, R. Piper & Co., München, 1980.

В книге Э. Ноэль-Нейман содержатся результаты целого ряда собственных исследований автора, связанных с данной проблематикой и проведенных методами демоскопии.

Solomon E. Asch. Group Forces in the Modification and Distortion of Judgements. В кн.: Social Psychology, Prentice Hall Inc., New York, 1952, S. 452.

Jean-Jacques Rousseau. *Dépêches de Venise*, XCI. La Pléiade. Gallimard, Paris, 1964, Vol. 3, p. 1184.

James Madison. *The Federalist*, 1788, 49, February 2.

Alexis de Tocqueville. *Autorität und Freiheit*, Rascher, Zürich/Leipzig, 1935, S. 55.

James Bryce. *The American Commonwealth*, Macmillan, London, Vol. II, Part IV, Chapter LXXXV, p. 337.

Guy de Maupassant. *Bel ami*.

Walter Lippmann. *Public Opinion*, The Macmillan Comp., New York, 1922, а также издание 1954 года; то же на немецком языке: *Die öffentliche Meinung*, Rütten u. Loenig, München, 1964.

Niklas Luhmann. *Politische Vierteljahrsschrift*, 11. Jg., 1970, Heft 1, S.2–28.

David Hume. *Essays Moral, Political and Literary*, Oxford University Press, London, 1963, p. 29.

Jean-Jacques Rousseau. *Schriften zur Kulturkritik: Französisch-deutsche Ausgabe*. Deutsche Übersetzung von Kurt Weigand, Felix Meiner, Hamburg, 1978, S. 257.

Аналогии между фазовыми переходами и революциями:

W. Weidlich, В кн.: *Synergetik / H. Haken* (Hg.), Teubner, Stuttgart, 1973, а также

W. Weidlich, G. Haag. *Quantitative Sociology*, Springer, Berlin, 1983.

A. Wunderlin, H. Haken. *Vortrag zum Projekt Mehrebenenanalyse im Rahmen des Forschungsschwerpunkts Mathematisierung*, Universität Bielefeld, 1980, а также

H. Haken. *Synergetik: Eine Einführung*.

Ivan London. *Vorabdruck*, 1981.

Alexis de Tocqueville. *L'Ancien Régime et la Révolution*, на немецком языке: *Das alte Staatswesen und die Revolution*, Leipzig, 1857.

G. Bateson. *Ökologie des Geistes: Anthropologische, psychologische, biologische und epistemologische Perspektiven*, 3. Aufl., Suhrkamp, Frankfurt/M., 1990.

16. О галлюцинациях и теориях деятельности мозга

Есть неплохой обзор, написанный общедоступным языком:

The Brain, *Scientific American*, September 1979, а также статья

D. H. Hubel, T. H. Wiesel. *The Journal of Physiology*, 195, No 2, 215, November 1968 (эксперименты по исследованию зрительной системы обезьян).

Столь же общедоступен язык некоторых книг, рассказывающих об исследованиях мозга. Например:

Wolf Singer. Gehirn und Bewußtsein, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1994.

J. D. Cowan, G. B. Ermentrout. В серии: Springer Series in Synergetics, Bd. 5, S. 122, 1. с. (Теория вызываемых медикаментозно галлюцинаций).

О мозге и зрительном восприятии см. также

H. Haken, M. Haken-Krell. Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung, DVA, Stuttgart, 1992. (Перевод на русский язык: *Г. Хакен, М. Хакен-Крелль. Тайны восприятия. М.: Институт компьютерных исследований, 2002.*)

Приступы эпилепсии:

A. Babloyantz. В серии: Springer Series in Synergetics, Bd. 6, S. 180, 1. с.

C. Uhl, R. Friedrich. Synergetic Analysis of Human Electroencephalograms: Petit-Mal Epilepsy. В сб.: Evolution of Dynamical Structures in Complex Systems: Proceedings of the International Symposium Stuttgart, eds. R. Friedrich, A. Wunderlin, Springer Proceedings in Physics **69**, 1992.

О синапсах Хебба:

D. Hebb. Organization of behavior. Wiley, New York, 1979.

17. Эмансипация компьютера

Распознавание образов:

K. S. Fu. Digital Pattern Recognition. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1976;

K. S. Fu. Syntactic Pattern Recognition Applications. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1976;

K. S. Fu. В серии: Springer Series in Synergetics, Springer, Berlin 1979, Bd. 5, S. 176 1. с.;

T. Kohonen. Associative Memory - A System - Theoretical Approach. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1978, а также Springer Series in Synergetics, Springer, Berlin 1979, Bd. 5, S. 199 1. с.

О синергетическом компьютере:

H. Haken. Synergetic Computers and Cognition. Springer, Berlin, 1990, а также

H. Haken, M. Haken-Krell. Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung, DVA, Stuttgart, 1992. (См. также с. 304.)

Теория зрительного восприятия (в частности, восприятия амбивалентных изображений) интереснейшим образом связывает синергетику и гештальтпсихологию:

- W. Köhler*. Die Aufgabe der Gestaltpsychologie. De Gruyter, Berlin, 1971.
Свойственны ли компьютерам капризы и причуды?
- J. Weizenbaum*. Computer Power and Human Reason. W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1976.
- О нейрокompьютерах написано очень много. Например:
- H. Ritter*. Neuronale Netze: Eine Einführung in die Neuroinformatik selbstorganisierter Netzwerke, Addison-Wesley, Bonn, München, 1994.
- D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse*. Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 1994.
- K. P. Kratzer*. Neuronale Netze: Grundlagen und Anwendungen. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993.
- N. Hoffmann*. Kleines Handbuch neuronaler Netze. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 1993.
- S. Brunak, B. Lautrup*. Neuronale Netze: Die nächste Computer-Revolution. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993.
- S. Brunak, B. Lautrup*. Theorie der neuronalen Netze: Eine systematische Einführung. Springer, Berlin, 1993.
- G. Grauel*. Neuronale Netze: Grundlagen und mathematische Modellierung. BI-Wiss.-Verlag, Mannheim, 1992.

18. Динамика научного познания мира, или Борьба в мире науки

- Thomas S. Kuhn*. The Structure of Scientific Revolution. University of Chicago Press, Chicago, 1970.
- R. K. Merton*. The Sociology of Science. The University of Chicago Press, Chicago, 1973.
- Harriet Zuckerman*. Scientific Elite. The Free Press, Macmillan Publishing Co. Inc., New York, 1977.
- René Thom*. Stabilité Structurelle et Morphogénèse. Benjamin, New York, 1972.
- Tim Poston, Jan Stewart*. Catastrophe Theory and its Applications. Pitman Publishing Limited, London, 1978.
- E. C. Zeeman*. Catastrophe Theory: Selected Papers. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1977.
- G. B. Kolata*. Science **196**, 287, 350–351 (1977).
- H. J. Sussmann, R. S. Zahler*. Synthese **37**, 117–216 (1978), а также
- H. J. Sussmann, R. S. Zahler*. Behavioral Science **23**, 383–389 (1978).
- V. A. Arnold*. Catastrophe Theory. Springer, Berlin, 1992.

P. Glansdorff, I. Prigogine. Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations. Wiley, New York, 1971.

G. Nicolis, I. Prigogine. Self-Organization in Nonequilibrium Systems. Wiley Interscience, New York, 1977.

R. Landauer. Phys. Rev. A, **12**, 636 (1975).

Ronald Forrest Fox. Proc. Natl. Acad. Sci, USA, **77**, No 7, 3763 (1980).

В том, что касается постановки цели, между синергетикой и общей теорией систем существуют интересные параллели:

L. von Bertalanffy. General System Theory: Foundations, Development, Applications. Rev. ed., George Braziller, New York, 1976.

Обе теории имеют своей целью, помимо прочего, еще и обнаружение аналогий между различными системами; но если общая теория систем полагает, что такие аналогии следует искать на уровне отдельных элементов, то синергетика ищет (и находит!) их на уровне параметров порядка.

О кибернетике:

N. Wiener. Cybernetics. The Technology Press of M. I. T. and John Wiley and Sons, Inc., New York, 1953.

В заключение следует указать на коренное отличие синергетики и кибернетики: кибернетика занимается регулированием и управлением, синергетика же — самоорганизацией. По истории синергетики см.:

R. Paslack. Urgeschichte der Selbstorganisation. Vieweg & Sohn, Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1991, а также

H. von Förster. Principles of Self-Organization in a Socio-Managerial Context. В сб.: H. Ulrich, G. J. B. Probst (ed.). Self-Organization and Management of Social Systems: Insights, Promises, Doubts, and Questions, Berlin, 1984.

19. Итоги

О будущем Вселенной можно прочесть, например, статью

F. J. Dyson. Rev. Mod. Phys. **52**, 447 (1979), а также

R. Breuer. Vom Ende der Welt. Bild der Wissenschaft, Stuttgart, 1981, Heft 1, 18. Jg, S. 46.

Kurt Gödel. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. I., Monatshefte für Mathematik und Physik, **38**, 173–198 (1931); или

Douglas R. Hofstadter. Gödel, Escher, Bach, and Eternal Golden Braid, The Harvester Press Ltd., Hassocks, 1979.

Источники иллюстраций

- 1.1. Галактика M81, *H. C. Arp*. The Evolution of Galaxies, Readings from Scientific American: New Frontiers in Astronomy, Freeman and Co., San Francisco, 1975.
- 1.3. Naturwissenschaftl. Rundschau, **10**, 1979.
- 1.4. «Рисование», *M. C. Escher*. Graphik und Zeichnungen, Heinz Moos Verlag, München, 1975.
- 2.3. «Порядок и хаос», *M. C. Escher*. Graphik und Zeichnungen, Heinz Moos Verlag, München, 1975.
- 3.1. *G. Adam, P. Läger, G. Stark*. Physikalische Chemie und Biophysik, Springer, Berlin, 1977, по *L. Pauling*. The Nature of the Chemical Bond, Cornell Univ. Press, 1960.
- 3.3. *Gerthsen, Kneser, Vogel*. Physik, Springer, Berlin, 1977.
- 3.6. *C. Kittel*. Introduction to Solid State Physics, Wiley, New York, 1956.
- 4.4. *H. Haken*. Die Synergetik. Ordnung aus dem Chaos, Bild der Wissenschaft/Keidel.
- 4.19. *M. Bestehorn, H. Haken*. Associative Memory of a Dynamical System: The Example of the Convection Instability, *Z. Phys. B* **82**, 305, 1991.
- 4.20. *M. G. Velarde, C. Normand*. Convection, *Sci. Am.* July 1980.
- 4.22. *U. George*. Geburt eines Ozeans, *Geo* 7, Juli 1978, Gruner + Jahr, Hamburg, 1978.
- 4.23. *H. Haken*. Die Synergetik. Ordnung aus dem Chaos, Bild der Wissenschaft.
- 4.24. *J. A. Whitehead, jr*. A Survey of Hydrodynamic Instabilities, в: Fluctuations, Instabilities and Phase Transitions, ed. T. Riste, Plenum Press, New York, 1975.

- 4.25. *M. Bestehorn, M. Fantz, R. Friedrich, H. Haken*. Hexagonal and Spiral Patterns of Thermal Convection, *Physics Letters A*, **174**, 1993.
- 4.26. Pattern Formation and Pattern Recognition, ed. H. Haken, Springer, Berlin, 1979, по *F. H. Busse, J. A. Whitehead*. *J. Fluid Mech.* **47**, 305 (1971).
- 4.27. *H. L. Swinney, P. R. Fenstermacher, J. P. Gollub*. Transition to Turbulence in a Fluid Flow, в: *Synergetics. A Workshop*, ed. H. Haken, Springer, Berlin, 1977.
- 4.29. *R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands*. The Feynman Lectures of Physics II, Addison Wesley, 1965.
- 6.5. *M. L. Smoes*. Chemical Waves in the oscillatory Zhabotinskii System. A Transition from temporal to spatio-temporal Organization», в: *Dynamics of Synergetic Systems*, ed. H. Haken, Springer, Berlin, 1980.
- 8.3. *D. A. McLulich*. Fluctuations in the Numbers of varying Hare, Univ. of Toronto Press, Toronto, 1973.
- 8.4. *R. M. May*. Model Ecosystems, Princeton Univ. Press, Princeton, 1974.
- 9.1. a) *M. W. Nirenberg*. The Genetic Code II, b) *V. Yanofsky*. Gene Structure and Protein Structure, в: *Readings from Scientific American: The Molecular Basis of Life*, Freeman and Co., San Francisco, 1968.
- 9.4. *J. C. Fiddes*. The Nucleotide Sequence of Viral DNA, *Sci. Am.*, December 1977, **54** (1977).
- 9.5. *F. Vester*. Das Kybernetische Zeitalter, S. Fischer Verlag, Frankfurt a. M., 1974.
- 9.6. *J. T. Bonner*. Differentiation in Social Amoebae, *Readings from Scientific American: From Cell to Organism*, Freeman and Co., San Francisco, 1967.
- 9.7. *G. Gerisch, B. Hess*. *Proc. nat. Acad. Sci. (Wash.)*, **71**, 2118 (1974).
- 9.13. *H. Meinhardt*. The Spatial Control of Cell Differentiation by Autocatalysis and Lateral Inhibition, в: *Synergetics. A Workshop*, ed. H. Haken, Springer, Berlin, 1977.
- 11.3. «Предел окружности IV», *M. C. Escher*. *Graphik und Zeichnungen*, Heinz Moos Verlag, München, 1975.

- 11.4. *G. C. Davison / J. M. Neale*. *Klinische Psychologie*, Urban & Schwarzenberg, München/Wien/Baltimore, 1979.
- 12.1. Film- und Bildarchiv Werner-Büdelers, 83629 Weyarn.
- 12.3. *H. Haken*. *Synergetics. An Introduction*, Springer, Berlin, 1978.
- 12.4. *Physics Today*, January 1978.
- 14.6. *G. Mensch, K. Kaasch, A. Kleinknecht, R. Schnopp*. *Innovation Trends, and Switching Between Full- and Under-Employment Equilibria 1950—1978*, IIM/dp 80-5, discussion paper series, International Institute of Management, Wissenschaftszentrum Berlin, Berlin, 1980.
- 16.1, 16.2. *T. H. Bullock, R. Orkand, A. Grinell*. *Introduction to Nervous Systems*, Freeman and Co., San Francisco, 1977.
- 16.2a. *D. H. Hubel*. *The Brain*, *Sci. Am.* September 1979, **39** (1979).
- 16.4. *N. A. Lassen, D. H. Ingvar, E. Skinhøj*. *Brain Function and Blood Flow*, *Sci. Am.* October 1978.
- 16.6. *A. Babloyantz*. *Self-Organization Phenomena in Multiple Unit Systems*, в: *Dynamics of Synergetic Systems*, ed. H. Haken, Springer, Berlin, 1980.
- 17.2. *K. S. Fu*. *Syntactic Methods in Pattern Recognition*, Academic Press, New York, 1974.
- 17.11. *L. R. Rabiner, R. W. Schafer*. *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, ©1978 Bell Labs Inc.
- 17.12. *G. Hoffmann*. *Brunnen und Wasserspiele*, J. Hoffmann Verlag, Stuttgart, 1980.
- 17.19. *G. Adam, P. Läuger, G. Stark*. *Physikalische Chemie und Biophysik*, Springer, Berlin, 1977, no *Singer, Nicolson*. *Science* **1975**, 720 (1972).
- 18.1. *K. Appel, W. Haken*. *Der Beweis des Vierfarbensatzes*, *Spektrum der Wissenschaft*, Erstedition.

Предметный указатель

- Автокатализ 79, 84, 90
Активаторы 111–113
Алгоритм 250
– генетический 242
Анализ временных рядов 160, 162
Апель, Кеннет 269
Арнольд, В. И. 282
Атмосфера двойной морали («двоемыслие») 209, *см.* Диктатура
Аттрактор 154, 161
– хаотический 153, 161
- «Бабушкины клетки» 223, 230
Беднорц, Й. Г. 41
Безработица 171, 184
Бейтсон, Грегори 216
Белоусов, Борис П. 80
Бенара, ячейки 285, *см.* Конфигурации, гексагональные («пчелиные соты»)
Бете, Ханс Альбрехт 145
Биомембраны 262, *см.* Мембраны, клеточные
Биомолекулы 20, 90, 98, 112, 263, 292, *см.* ДНК
Биржа 160, 162
Большцман, Людвиг 30, 32
Большцмана, закон 32, 288
Большой взрыв 36, 290
Бор, Нильс 67
Борьба за приоритет 275, 277
Брайс, Джеймс 197
Бюрократия 218–220
- Вайценбаум, Йозеф 267
Вайцекер, Карл-Фридрих фон 145
Вегенер, Альфред 65
Вейль, Симона 274
Взаимодействие 14, 20, 23, 102, 140, 189, 225, 263, *см.* Синергетика
Визел, Торстен 222
Винклер, Рутхильд 13
Виртуальная реальность 237
Витализм 21
Внушаемость 193–196, 201, 205, 213, *см.* Мнение, общественное
Возникновение структур 13, 17, 20–22, 24, 28, 102, 106, 193, 286, 288, 292
– гексагональных 16, *см.* Конфигурации, гексагональные («пчелиные соты»)
– упорядоченных 46
Волны спиральные 13, 107, *см.* Структуры, химические
– электромагнитные 67
Вольтерра, В. 95
Восприятие 127, 225, 248, *см.* Нарушение симметрии
Выживание 212, 242
– «лучших» 88, 90, 275
– благодаря специализации 94
– предприятий 218
Вычисления, приближенные 240
- Газ, модель идеального газа 32
– молекулы 30–34, 136

- Газеты 199–201, 203, *см.* Конкуренция (конкурентная борьба)
- двойная роль 199
 - как параметр порядка 281
- Газоразрядная трубка 67, 71
- Галлюцинации 226, 230, *см.* Мозг
- Гаусс, Карл Фридрих 164
- Гёдель, Курт 293
- Гейзенберг, Вернер 42, 270
- Гельмгольц, Герман Людвиг Фердинанд фон 36
- Генотип 88
- Гидра 106, 109–111, 113
- регенерация 109
- Гидродинамика 152
- Гирер, Альфред 111, 286
- Гистерезис 121, 123
- Главный компьютер 241
- Глаз тропической мухи 16
- Глансдорф, Пауль 285
- Глии 221, 234
- Гнет отбора 198, 211
- Гольджи, Камилло 221
- Гранулы 57
- Грей, Чарлз М. 228
- Гроссман, Зигфрид 157
- Губерман, Бернардо 66
- Гукер, Джозеф Дальтон 87
- ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) 19, 102–106, 113, 292
- аналогия с магнитофонной лентой 103
- Дарвин, Чарлз 86–88, 93, 274
- Дарвинизм 88, 90, 289
- Движение 135, 148, 289
- воздушных масс 142
 - воздушных масс, образование цилиндрических ячеек 47, 225, *см.* Жидкости, цилиндрические ячейки
 - коллективное 48, 58, 288, 291, *см.* Движение
 - конфигурации 59, 63, 116, 136
 - конфигурации, биологические 116
 - макроскопическое 48, 51, 85, 147
 - микроскопическое 47
 - неупорядоченное 43, 49, 70, 136, 159
 - ног 122
 - пальцев 117–121
 - пальцев, параллельное 117, 121
 - пальцев, симметричное 117, 121
 - тепловое 34, 37, 39, 43, 145
 - турбулентное 136
 - упорядоченное 41, 49, 71
 - хаотическое 62, 136, 139, 141–144, 148, 152, 154
 - цилиндрическое *см.* Жидкости «Двойная связь» 216
- Двойная спираль 102, 270, *см.* ДНК
- Демоскопия 196
- Депрессия, экономическая 171
- Дестабилизация 172, 197, 213, *см.* Системы
- Диктатура 207, 212, 216, *см.* Мнение, общественное
- Диффузия 82, 112
- Дрейф, континентальный 65
- Жаботинский, Анатолий М. 80
- Жидкости 13, 44, 52, 84, 98, 165, 190, 241, 244, 264
- конфигурации движения 47, 49, 55, 61–63, 82, 100, 136, 142, 203
 - конфигурации движения, гексагональные ячейки 13, 55, 59, 285, 287
 - конфигурации движения, спирали 59
 - опыт с вращающимися цилиндрами 61, 64
 - слои 48, 58, 172, 289

- слои, при нагревании снизу 48, 125, 136, 141
- цилиндрические ячейки 48, 52, 144, 173, 197
- цилиндрическое движение 48, 50, 58, 62, 85, 118, 125, 225, 246, 248, *см.* Жидкости, цилиндрические ячейки
- Задача о четырех красках 269
- Закон больших чисел 164
- Замедление, критическое 123
- Занятость неполная 173, 182
 - неполная, равновесие 182
 - полная 171, 173, 177, 182
- «Запрет на профессию» 203
- Зеeman, Эрик Кристофер 282
- Зингер, Вольф 228
- Зусман, Х. Й. 284
- Игровые автоматы 139
- Изменение внешних условий 96–100, 171, 184, 197, 289
- Изоляция 197
- Инвестиции 176–178, 182
- Ингибиторы 111, 113
- Индекс цитируемости 276
- Исследования, инновационные 172, 177
- Камерлинг-Оннес, Хейке 40
- Катализатор 78, 90
- Катастрофа, климатическая 97
- Квантовая механика 25, 42, 67, 135, 270, 272
- Келсо, Скотт 116, 120
- Клаузиус, Рудольф Юлиус Эмануэль 36
- Клетки 20, 24, 103, 109, 113
 - группы 24, 109, 112
 - группы, недифференцированные 111
 - дифференциация 110, 286
- обмен веществ 111
- сообщение между отдельными клетками 108, 110
- Клеточная оболочка 113
- Кодон 103
- Колата, Г. Б. 284
- Колебания нерегулярные 96, 137
 - относительной фазы 122, *см.* Фаза, относительная
 - периодические 95
 - случайные 90, 172, 265
 - температурные 100
- Кольца Сатурна 138
- Компьютер 41, 123, 235–238, 242, 270
 - аппаратное воплощение 254, 256, 263
 - водяной 254–259
 - логические схемы 255, 259
 - мыслительная деятельность 236, 265
 - параллельный 264
 - самоорганизация 241, 293, *см.* Самоорганизация
 - самопрограммирование 239, 266
 - сети 241–242
 - синергетический 241, 248–250, 263
 - синергетический, параллельная обработка информации 264
 - способность чувствовать 264–266
 - схемные элементы 261, 264
 - фундаментальные структуры 241
- Компьютерное распознавание акустических сигналов 252
 - изображений лиц 250, 252
 - текста 246, 265
 - устной речи 253
- Конкуренция (конкурентная борьба) 24, 25, 58, 73, 114, 203, 242, 248, 289
 - биомолекул 90, *см.* Биомолекулы

- в экономике 90, 94, 173
- длин волн в лазере 90, *см.* Лазер, длины волн
- за источники питания 88
- межвидовая 24, 88, 92, 98
- между нервными волокнами 114
- мнений 195
- мод 289
- партий 206
- предприятий 166, 170, 182, 218
- с точки зрения социологии 204, 212, 215, *см.* Социология
- среди ученых 269, 275–277
- средств массовой информации 201, 280, 304
- электронов 72
- Конфигурации гексагональные («пчелиные соты») 16, 56, 136, 203, *см.* Жидкости, конфигурации движения
- Конфликты 129, 132, 184, 193, 265
- Кооперация 25, 58, 98, 114, 165, 212, 288
- Коуэн, Джек 226
- Кох, Хельге фон 154
- Коха, кривая 153
- Красное смещение 291
- Кривая затрат 318, *см.* Синергетические затраты
- распределения 34
- Крик, Фрэнсис 270
- Кристалл льда 37
- Кристаллы 20, 22, 37–39, 41, 46, *см.* Кристалл льда
- Кун, Томас 271
- Лазер 13, 22, 84, 90, 98, 122, 135, 157, 159, 173, 190, 216, 230, 244, 263, 269, 275, 286, 289, 292, *см.* Самоорганизация; Синергетика
- длины волн 90, 253
- доминирующая длина волны 203
- излучение 70, 73, 77, 160, 196, 198, 285
- излучение, когерентное 123, 182
- излучение, турбулентное 137
- излучение, хаотическое 137, 157, 159
- колебания 293
- моды 90, 170, 196, *см.* Моды
- накачка 77, 182, 289, 292
- определение 67
- переключения в компьютерных схемах 261
- переход 74
- теория 68
- ультракороткий импульс 77
- химический 74
- Лайель, Чарлз 86
- Ландауэр, Рольф 285
- Лейбниц, Готфрид Вильгельм 274
- Липман, Уолтер 203
- Лоренц, Эдвард Н. 144, 152
- Лоренцев аттрактор 152
- Лотка, А. 95
- Луман, Никлас 203
- Ляпунова, функция 285
- Ляпунова, экспонента 154
- Магнитоэнцефаллограмма 230
- Мазер 67
- Майер-Кресс, Готтфрид 152
- Максвелл, Джеймс Клерк 19
- Мальсбург, Кристоф фон дер 114
- Маркетинг 170
- Маятник 149, 154
- затухающие колебания 151, 154
- незатухающие колебания 151
- Мейнхардт, Ганс 111, 286
- Мембраны 262
- как элемент компьютера 261
- клеточные 20, 271
- клеточные, как элемент компьютера 261
- Менделеев, Дмитрий Иванович 19

- Менш, Герхард 171, 173, 177, 182
 Мертон, Роберт К. 86, 274
 Методология 27
 Микроволны 66
 Мнение, общественное 189, *см.* Эффекты, коллективные, 191, 195–198, 204, 206, 209, 211
 — господствующее 190, 192, 196–198, 205
 — исследование 192, 196, 215
 — меньшинства 211, 217
 — правительство 190, 195, 206, 209
 — формирование 190, 193, 195, 201
 Мобили 254, 256
 Модель движения шара по холмистому ландшафту (синергетическая кривая) 47, 265, 285
 — обмен веществ 111
 — психологические процессы 129
 — равновесие 47, 51
 — равноценные решения 125, *см.* Решения, равноценные
 — цилиндрические ячейки в жидкости 52, 180
 Моды 65, 90, 167, 196, 272, 288
 Мозг 114, 221, 223, *см.* Нейроны
 — зоны 222, 225
 — исследования 162
 — кровоснабжение 222, 225
 — моделирование 225, 232
 — нервные клетки 114, *см.* Нейроны
 — параллельная обработка информации 264
 — паттерны возбуждения 225–230
 — повреждения 223
 — распознавание образов 223, *см.* Компьютерное распознавание
 — рост 232, 290
 — функции 223, 228, 231
 — функциональная дестабилизация под воздействием наркотика 226
 — электромагнитные волны 230
 Молекулы 24, 90, 102, 110
 — движение 45
 — наследование 102
 — организация 37
 Молекулярные цепочки 102
 Молекулярный слой 262
 Монополия на суждения 200, 203
 Мутации 88, 90, 100, 116
 Мышление 223, 230, 263
 — блочное 231, 242
 Мэдисон, Джеймс 195
 Мюллер, Алекс 41
 Мюррей, Генри 128
 Намагниченность 43, 45, 212
 Нарушение симметрии 43, 46, 50–52, 74, 125–128, 177, 207, 215, 246, 253, 265
 — восприятие 125–127
 — конфликты 130
 — мозг 127
 — нормы общественного поведения 131
 — политические партии 207
 — пространственное 111
 — революции 215
 — световые волны 90
 — цилиндрические ячейки в жидкости 52
 — экономическое равновесие 177
 Наследственная информация 270, *см.* ДНК
 Наследственность 19, 102, 103
 Наследственные признаки 88
 Наука 269–272
 — объединение 282, 285
 — переворот в науке 271, 273, 290
 — самоорганизация 277, *см.* Самоорганизация
 — смена поколений 277
 — эволюция науки 271
 Научная политика 278
 Научное познание 274, 284

- Нейман, Джон фон 142
Нейрокомпьютер 263
Нейронная сеть 221–235, 242, 264
– узлы *см.* Синапсы; Самоорганизация
Нейроны 221–226, 230, 232–235, 264
– аналогия с телефонной сетью 221, 228, 235
– блуждание 234
– молекулярные «замки» 235
– разветвление 234
– тормозные 225
– унификация поведения 230
Нелинейная динамика 163, 286
Неразрешимость 293
Нервная система 113, 124
– стимулятор роста 113, 234
Нервная трубка 232
Нервные импульсы 222, 225, 230, 235
Нервные клетки *см.* Нейроны
Нервные тракты 114
Нервный тяж 226
Неупорядоченность 22, 30, 34, 37, 285, 287, *см.* Энтропия
– мера 31, 288
– различные возможности 32–34
– рост энтропии 22, 24, 28, 31, 35–37, 288
Ноэль-Нейман, Элизабет 191, 194, 196, 203, 214
Ньютон, Исаак 19, 134, 138, 274
- Облачные дороги 47, 144
Облачные формации 24, 64
Образование цилиндрических ячеек в жидкости 48, 54, 56, 59, 63
– стабилизация 51
– флуктуации 57
Ограниченные ресурсы 170, 199, 203, 205
Озоновая дыра 97
- Оператор, логический 255–257
Организмы 102, 103, 114
Осцилляции (колебания) 230, 242, 285
Отбор 88, 199, 203, *см.* Селекция
- Память, ассоциативная 248
Парадигма 272, 277, 282
Параметр внимания 251
– контрольный 120, 124, 180, 183
Параметр порядка 23, 27, 51, 63, 81, 84, 98, 107, 112, 131, 141, 162, 165, 192, 203, 220, 248, 250, 261, 272, *см.* Принцип подчинения
– гнет отбора 198
– иерархия 253
– индивидуальный элемент системы 100, 131, 215
– конкуренция различных параметров порядка 141, 203
– макроскопический 113
– общественное мнение 189, 203
– подчиненные подсистемы 190, 206, 231, 272
– цилиндрические ячейки 51
Переворот *см.* Революции
Плазма 144, 148, 291
– неустойчивость 291
– поток 147
Планк, Макс 273
Поведение, коллективное 13, 24, 132, 163–165, 187, 201, 217, 290
– предприятия 13, 170, 180, 197
Подсистемы 23, 244, *см.* Параметр порядка
Поле зрения 222
Поле, магнитное 45, 140, 146
– макроскопическое 42
– микроскопическое 42
Популяции животных 94–97
Порядок 30, 36, 43, 159
– возникновение из хаоса 24, 27, *см.* Хаос

- разрушение 97
- Постон, Тим 282
- Потенциальное условие 283
- Потоки, конвекционные 65
- Предвзятость 127
- Пригожин, Илья 285
- Примитивы 243, 248
- Принцип вычисления 32
- Принцип подчинения 23, 65, 72, 81, 84, 165, 196, 198, 200, 292, *см.* Параметр порядка
- «световые» электроны 72
- бактерии 106
- общественное мнение 189–191, 203
- перемена фамилии 131
- различные параметры порядка 141
- среди ученых 272
- терминологические проблемы 189
- химические колебания 81
- цилиндрические ячейки в жидкости 49, 51, 57, 248, *см.* Жидкости, цилиндрические ячейки
- Природа живая 74, 90, 94, 97, 102, 107, 204, 219, 261, 289
- законы 25, 29, 134
- катастрофы 94
- неживая 74, 90, 97, 107, 213, 219, 287, 289–291
- Программирование 238–240, 263, 270
- «Продавцы мороженого» 165, 169, 206, *см.* Сосредоточение торговых точек
- Процессы, химические 110, 112, 263, 285
- Психология 43, 58
- Пуанкаре, Жюль Анри 137, 152, 155
- Пуанкаре, отображение 155
- РНК (рибонуклеиновая кислота) 98, 102, 106
- Равновесие 209, *см.* Экономика
- безразличное 47
- биологическое 94, 96
- неустойчивое 47–48
- положение 182
- статистическое 94–96
- тепловое 46, 59, 74, 290
- устойчивое 47, 48
- экологическое 94
- Распознавание знаков 246
- Распознавание лиц 249, 252, *см.* Компьютерное распознавание
- Распознавание образов 243, 248–250
- Распределение, равномерное 29, 32
- Расширение Вселенной 290
- Рационализация 173–179, 182
- Реакции, химические 82, 84, 98, 107, 136, 185, 241, 261, 286
- смена цвета в ходе реакции 80–82, 185
- смена цвета в ходе реакции, хаотическая 185
- Реакция Белоусова–Жаботинского 80–82, 137
- Революции 210, 212, 215
- научно-технические 271
- предсказание 189
- Революционеры 198
- Резонатор, кварцевый 151
- Рецепторы 226, *см.* Нейроны
- Решения, равноценные 217
- Решетка, кристаллическая 37, 39
- «Римский клуб» 268
- «Робоправо» 267
- Рост 116
- нестабильный 167
- Руссо, Жан-Жак 195, 212, 274
- Рыночная экономика, свободная 95, 182

- Самоорганизация 17, 22, 25, 63, 75, 123, 142, 218–220, 231, 235, *см.*
 Компьютер
 – атомы лазера 70, 183
 – движение 49
 – нейронная сеть 123, 133, *см.* Нейронная сеть
 – нервные тракты 114
 – хаос 63
 Самоподобие 153, 158
 Сверхпроводимость 39–41, 46, 74
 Свет 67
 – волны 68, 71–73, 85, 94, 100, 135, *см.* Лазер, длины волн
 – детерминистски-хаотический 77
 – лампы (в противоположность излучению лазера) 70, 73, 135, 172, 212
 – скорость 271
 – турбулентный 77
 Свобода слова 205
 Сговор 170
 Селекция 88–90, 98, 203, *см.* Отбор
 Сетчатка (ретина) 226
 Синапсы 235, 263
 Синапсы Хебба 235
 Синергетика 14, 20, 23–26, 43, 63, 112, 116, 122, 124, 130, 136, 140, 148, 162, 164, 170, 177, 187, 193, 196, 199, 204, 215, 218, 231, 248, 252, 261, 268, 270, 276, 284, 288, *см.* Лазер; Принцип подчинения
 – макроскопические изменения 116
 – основополагающий принцип 67, 71, 96, 198, 263, 282
 – порядок 189
 – прогнозирование 163
 – формирование общественного мнения 195
 – хаос 140
 – экономика 187
 Синергетические системы 94, 219, 241
 Синергетические эффекты 66, 163, 165, 170, 244
 Синергетических затрат, кривая 111, 173–175, 177, 179–182, 207
 Синергетическое поведение 72
 Система дестабилизация 172, 197
 – надкритическое состояние 82
 – открытая 73, 284, 288, 292
 – прогнозирование 160, 215
 – развитие 271
 – устойчивое состояние 285
 Системы, комплексные 13, 26, 221, 268, 287
 – экономика 188
 Слизевики (миксомицеты) 106–108, 110, 234
 Сложность 26, 231
 Случайность 134, 139
 – и необходимость 73, 100
 Смена взглядов 197
 Смит, Адам 182, 187
 Снежинки 16
 Сосредоточение торговых точек 167, 277
 Состояние агрегатное 37
 – атома, возбужденное 69
 – макроскопическое *см.* Упорядоченное состояние, макроскопическое
 Состояния, неустойчивые 147, 186, 198, 215, 268
 Существование 94, 98, 114
 Социология 24, 27, 43, 51, 58, 71, 90, 170, 190, 197, 214, 216, 286, 290
 – науки 274
 Специализация 94, 170
 Спираль молчания 214
 Спиральная зависимость «зарплата – цена» 179
 Спиральные галактики 16, 291

- Средства массовой информации 190, 198, 200, 204
- Стереотип 203
- Структуры диссипативные 285
- химические 78, 80, 83, 112
 - химические, волны 81, 84, 106
 - химические, спирали 81–83, 287
- Таунс, Чарлз 66
- Таунса, принцип 67
- Температура, критическая 38, 40, 41
- Теория катастроф 173, 282–284
- Теория относительности 25, 270
- Тепловая смерть Вселенной 29, 36, *см.* Энтропия
- Тепловая энергия 35, 37, 43, 75, 285
- Тест апперцептивный 128
- Тест Роршаха 128
- Токамак 146
- Токвиль, Алексис де 196, 214
- Том, Рене 282, 284
- Томе, С. 157
- Торговая политика 169
- Точка перехода 45
- Точка пробива 155
- Точки неустойчивого равновесия 58, 97, 215
- Траектория 151, 154, 157, 161
- фрактальная размерность 154
 - хаотическая 154
- Тьюринг, Алан М. 110
- Тьюринга, модель 286
- Удвоение периода 157
- Уоллес, Альфред Рассел 86, 274
- Уотсон, Джеймс 270
- Упорядоченное состояние 24, 31, 37, 70, 72, 97, 125, 165, 203, 212, 248, 277, 292
- макроскопическое 41, 58, 74, 77, 107, 196, 212, 228, 261, 271, 289
 - микроскопическое 37, 40, 263
- самостабилизация 210
 - синергетическое 168
 - форма государственности 212, 217
- Управление 218
- Уравнение диффузии 112
- Уравнение, логистическое 157
- Условие начальное 154, 159
- Ученые *см.* Конкуренция (конкурентная борьба) среди ученых
- Фаза 37, 43, 117, 121
- макроскопическая 216
 - относительная 117, 119–121
- Фазовая плоскость 149, 152
- Фазовое пространство 152, 154, 161
- Фазовый переход 37, 41, 43, 46, 59, 73, 116, 118, 120, 167, 171, 212, 214, 272, 281, 284
- в сознании 231
 - при движении 123
- Фенотип 88
- Ферромагниты 41–43, 45, 74
- Физика 21, 27, 43, 63, 287
- Флуктуации 22, 49, 51, 77, 121, 129, 163, 172, 180, 198, 207, 214, 215, 231, 272, 282, 284, 286, 292
- критические 45, 74, 121, 123, 282, 284
 - начальная флуктуация 51, 111, 139, 144
- Фокс, Рональд Ф. 285
- Формирование образов (структур, конфигураций) 13, 63, 106, 108, 112, 250, *см.* Движение, конфигурации; Жидкости, конфигурации движения
- временных 112, 136
 - макроскопических 81, 136, 241
 - пространственных 112, 136, 285
- Формообразование 111
- Фрактальные кривые 153
- Хакен, Вольфганг 269

- Хакеры 240
Хаос 24, 31, 36, 134, 137, 139, 144, 148, 154, 268
— детерминированный 63, 136, 149, 159
— и порядок 31, 136
— микроскопический 136, 159
— теория 149, 158, 160, 286
Холмистый ландшафт 120
Хольст, Эрих фон 124
Хьюбел, Дэвид 222
- ц-АМФ (циклический аденозинмонофосфат) 106–108
Цикл, предельный 150–152
Цукерман, Гарриет 274, 276
- Часы, химические 80
- Шавлов, Артур 66
Шпигельман, Сол 98
Шредингер, Эрвин 270
Шумпетер, Йозеф Алоис 182
Шумпетера, цикл 182
Шустер, Петер 90
- Эволюция 141
— теория 79, 87, 170, 274
— экономическая 171, *см.* Экономика
- Эйген, Манфред 13
Эйгена, гиперцикл 90
Эйгена, теория эволюции 90
Эйнштейн, Альберт 19, 25, 71, 250, 270, 273
Экклс, сэр Джон 232
Экологическая ниша 92, 100
Экономика 63, 162, 164, 267, 287
— государственное управление 182, 185
— динамическое рассмотрение 171
— неустойчивые состояния 182, *см.* Состояния, неустойчивые
— прибыль 173, 218
— равновесие 173, 177, 187
— хаотическое поведение 185
— *Springer* 179
Экономическая модель 172
Экономическая тенденция 182
Экономическая теория 63, 170, 182, 187
Экономические науки 27, 179, 185
Экономический хаос 185
Экономическое положение 180
Эксперимент Эша 193, *см.* Внушаемость
Экхорн, Р. 228
Электронные пары 41
Электроны 20, 39, 67–69, 72, 77, 144, 259, 271
— «световые» 67, 71, 72, 74–77
— «световые», возбужденные 71, 73
Элементарные магнитики 42–45
«Элиза» 267
Энтропия 28, 32, 285, 288, *см.* Неупорядоченность
— максимум 36, *см.* Тепловая смерть Вселенной
Эпилепсия, приступ 230
Эффект антропогенный 98
Эффект Матфея 274–276
Эффект лезвия 139, 154
Эффекты коллективные 194, 210, 215, 223
Эш, Соломон Э. 194
Эшер, Мориц Корнелиус 23, 30, 126, 136
- Юм, Дэвид 206
- Ядерный синтез (термоядерная реакция) 142, 145, 148
Ядро атомное 20, 68, 144, 271

Интересующие Вас книги нашего издательства можно заказать почтой или электронной почтой:

subscribe@rcd.ru

Внимание: дешевле и быстрее всего книги можно приобрести через наш Интернет-магазин:

http://shop.rcd.ru

Книги также можно приобрести:

1. Москва, ФТИАН, Нахимовский проспект, д. 36/1, к. 307,
тел.: 332-48-92 (почтовый адрес: Нахимовский проспект, д. 34).
2. Москва, ИМАШ, ул. Бардина, д. 4, корп. 3, к. 414, тел. 135-54-37.
3. МГУ им. Ломоносова (ГЗ, 1 этаж).

4. Магазины:

Москва: «Дом научно-технической книги» (Ленинский пр., 40)

«Московский дом книги» (ул. Новый Арбат, 8)

«Библиоглобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6)

С.-Пб.: «С.-Пб. дом книги» (Невский пр., 28)

Герман Хакен

ТАЙНЫ ПРИРОДЫ

СИНЕРГЕТИКА: УЧЕНИЕ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Дизайнер М. В. Ботя

Технический редактор А. В. Ширококов

Компьютерная верстка С. В. Высоцкий

Корректор М. А. Ложкина

Подписано в печать 29.12.02. Формат 60 × 84¹/₁₆.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,6. Уч. изд. л. 18,34.

Гарнитура Таймс. Бумага офсетная №1.

Тираж 1500 экз. Заказ №

АНО «Институт компьютерных исследований»

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1.

Лицензия на издательскую деятельность ЛУ №084 от 03.04.00.

http://rcd.ru E-mail: borisov@rcd.ru

Отпечатано в полиом соответствии с качеством
предоставленных диапозитивов в ГИПП «Вятка».

610033, г. Киров, ул. Московская, 122.
