

## Глава 11

# Послесловие. О математическом моделировании

Книга была задумана для того, чтобы описать методы математического моделирования в применении к различным проблемам, и можно было ожидать, что кто-нибудь, прежде чем читать книгу, спросит: А не могли бы Вы вначале объяснить, что такое *математическое моделирование*? И, кстати, что такое *математическая модель*, пожалуйста? Разумные вопросы, особенно тех, кто нашел бы, что предыдущие главы скучны, да и трудноваты для чтения. К сожалению, вопрос не имеет простого ответа. Вся эта книга написана, чтобы объяснить, что такое математическое моделирование, но в этой главе я попробую всё же объяснить доступными средствами, что это такое.

Конечно, можно найти много определений предмета. Например, в книге Карлина (Karlin, 1992) можно прочитать на странице 14 русского издания: "Модель – это надлежащая абстракция реального явления, сохраняющая существенную структуру задачи таким образом, чтобы её анализ давал возможность проникнуть в сущность, как первоначальной конкретной ситуации, так и других ситуаций аналогичных ей по своей формальной структуре."

Это можно было бы считать удовлетворительным определением, если бы мы знали вначале, что такое реальное явление (в определениях используются также другие термины: система, процесс, явление, ситуация и так далее). Далее, как же мы можем судить, что модель "сохраняет существенную структуру задачи"? Задумавшись, мы осознаём, что под реальным явлением подразумевается наше представление о "реальном явлении", описанное

в понятных для нас терминах, и наше желание записать математическую модель можно интерпретировать лишь как стремление уточнить некоторые детали в имеющемся описании "реального явления".

Фактически, мы не знаем иной реальности кроме нашего представления о реальности, и математическое моделирование оказывается методом конструирования наших представлений о реальности.

## 11.1 Инстинкт упорядочения

Полагают, что в процессе эволюции сформировался организм человека, обладающий способностью воспринимать сигналы от окружения и упорядочивать их на сознательном и бессознательном уровнях, что позволяют человеку иметь обобщенное представление об окружении и принимать решение о наилучшем поведении. Замечательно, что способность к упорядочению внешних сигналов развилась как один из механизмов приспособления организмов для жизни в окружающей среде и остаётся заложенным в природе человека и животных как императив упорядочения. Процесс упорядочения впечатлений у человека на бессознательном и сознательном уровнях приводит к цепочке: сигналы - образы - понятия - утверждения - события - теории.

### 11.1.1 Уровень бессознательного

Надо думать, что хаос сигналов воспринимает и человек, и любое животное, но без предварительной обработки и создания обобщенных *образов* использовать эти сигналы было бы затруднительно. Такую работу выполняют нервная система и мозг биологического организма (Haken, Haken-Krell, 1992). Следует полагать, что как у животного, так и у человека на бессознательном уровне действует врожденный механизм обработки сигналов – некоторое информационное устройство аналогичное компьютеру (Lilly, 1987; Норфилд, 1999) со встроенной программой переходов от одного состояния к другому. При получении сигналов начинается процесс, который переводит систему от начального состояния возбуждённого состояния до заключительного состояния, которое, предполагается, является устойчивым. Этот процесс позволяет вырабатывать обобщенные характеристики (образы) множества впечатлений (сигналов).

Существует также некоторая программа – врожденный механизм распознавания

сходства и различия *образов*, который можно квалифицировать как инстинкт упорядочения. При непосредственном восприятии образов А, В, С, ... улавливается общий признак, который получает название - ярлык, термин  $\alpha$ , который фиксирует представление о *понятии*. *Обозначение понятия* можно рассматривать как элементарный элемент описания. Любое обозначение – есть абстрактная конструкция, и нет ничего в действительности, что соответствует понятию как таковому, но, однако, понятие отражает представление о некоторых общих особенностях немногих (или многих) *денотатов*.

Работа нервной системы и мозга протекает на инстинктивном уровне. Пользователь машины не имеет никакого контроля над динамикой, которая определен картой перехода состояний. Фундаментальные понятия и некоторые соотношения между понятиями появляются на уровне бессознательного.

### 11.1.2 Уровень сознательного

И человек и животные приобретают некоторый опыт в течение жизни, основанный на существовании неосознанного процесса упорядочения сигналов. Основная работа по упорядочению воздействий на организм и формированию понятий протекает без осознания того, что происходит, как говорят, на уровне бессознательного. Однако *понятия* уже становятся фактами нашего сознания, о них можно думать и рассуждать. При этом всякое понятие есть единство ярлыка и смысла. Установление новых соотношений между понятиями фиксируется как приобретение и расширение смысла. Прогресс в освоении вселенной сопровождается дифференциацией понятий, введением новых понятий; возникают понятия, которые выражают отношения между понятиями. Опыт людей регистрируется как системы понятий, как системы утверждений.

На уровне сознательного формулируются правила упорядочения, как правила оперирования с ярлыками и рассуждениями. Законы формальной логики, описанные впервые ещё Аристотелем (Aristotle),<sup>1</sup> являются осознанными правилами упорядочения наших впечатлений, которые, впрочем, не могут вывести за пределы существующей системы понятий и утверждений. Принципиально новые понятия и утверждения формулируются на уровне бессознательного при участии нашего сознательного разума.

Сознательное и бессознательное взаимодействуют и поддерживают друг друга. Не существует резкой и точной границы между сознательным

---

<sup>1</sup>Современное изложение логики можно найти, например, в книге Гладких (2001)

и бессознательным, и могут быть выделены последовательные слои бессознательного. По Фрейду (Sigmund Freud) существует уровень предсознательного – некоторая пограничная область, которая при определённых условиях может быть открыта для сознательного созерцания. Налимов (1989, стр. 104) выделяет уровень предмышления, и предлагает расширенную карту сознания, которая позволяет ему приблизиться к объяснению правил упорядочения (вероятностных правил обретения смысла) на бессознательном уровне.

Не существует практически чисто логических открытий (Hadamard, 1951). Все открытия возникают в результате озарения (the insight), при котором происходит обращение нашего сознательного разума к уровню бессознательного. Были разработаны правила, облегчающие и стимулирующие освобождение нашего сознательного разума от пут логических рассуждений и обращение к уровню бессознательного (Альтушер, 1973, 1979; De Bono, 1967).

### 11.1.3 Утверждения, в которые мы верим

В результате взаимодействия сознательного и бессознательного уровней нашего разума появляются утверждения, некоторые из которых признаются верными. Такого рода утверждения считаются *фактами*. Человек узнаёт о фактах непосредственно (как результат неосознанной работы нервной системы и мозга) или же после рассуждений с помощью формальной логики. Знание фактов жизненно важно для человека, когда он действует и планирует свою деятельность. Все факты составляют реальность, которая очевидно является различной для различных людей. Реальность человека появляется и исчезает вместе с личностью.

Носители сознания – отдельные люди с ограниченными способностями, но существование ярлыков понятий (языка) делает возможным сделать понятия и утверждения фактами общественного сознания. Существует интенсивный обмен сообщениями среди индивидов общества, которое приводит к появлению чего-то целого – коллективного, общественного сознания, которое включает все факты, доступные для любого человека. Совокупность всех фактов в общественном сознании является большим множеством, чем совокупность фактов любого индивида, так что реальность, осознанная всем обществом, оказывается большей, чем реальность любого человека общества, но любой факт в общественном сознании, в принципе, доступен, для любого индивида. Можно считать, что гипотетическая

фактическая реальность больше чем реальность, с которой мы имеем дело. Но насколько большой и есть ли что-либо вне реальности, с которой мы имеем дело?

Совокупность фактов – регистрация коллективного опыта людей. Невозможно перечислить все факты, с которыми сталкивается человек в своей жизни, и человек чувствует себя комфортнее, если факты приведены в систему. Обобщение человеческого опыта немислимо вне уже существующей системы знания, которая представляет собой аккумуляцию предшествующего опыта и оказывается для исследователя относительно априорной. Непрерывно протекает процесс познания – включение новых фактов в систему знаний. На уровне личности, человек подсознательно пытается найти надлежащее место каждому новому факту в системе фактов (понять новый факт), и человек чувствует удовлетворение, когда все факты совместимы друг с другом в системе. Иначе, появляется чувство дискомфорта и волнения. Это проявление императива упорядочения.

#### 11.1.4 События

Всё, что происходит во Вселенной, включая нас непосредственно, связано друг с другом, но, в нашем воображении, мы противопоставляем то, что мы думаем о реальности, остальной части Вселенной. Время от времени наше внимание сосредотачивается на некоторых явлениях, привлекающих наше внимание. Мы можем даже полагать, что эти явления существуют отдельно от остальной части Вселенной, которая, однако, имеет непосредственное влияние на рассматриваемые явления. Выделенное таким образом явление можно назвать *событием*, и всё, кроме этого события, рассматривается как *окружающая среда*. События описываются при помощи системы понятий, но нам не даден никакой внешний язык для того, чтобы описывать событие: язык понятий может быть разработан только тогда, когда событие рассматривается, при этом приходится иметь дело с набором событий, даже если необходимо описать только одно событие.

Определенное событие и неопределенная окружающая среда и являются начальными понятиями нашего подхода к описанию или моделированию: эти понятия часто заменяются другими: то, на что мы обращаем внимание, может быть названо: объектом, процессом, системой и так далее. Для определённости удобно выбрать одно слово; согласимся называть это *событием* - это есть то, что мы пробуем описать или, другими словами, моделировать.

Как можно объяснить, что является событием? Событие – это что-то в действительности, что привлекает наше внимание. Событие выделяется в реальности некоторым образом, именно поэтому событие привлекает наше внимание. Однако в действительности нет никаких событий в тех формах, какими мы их воображаем; именно наше внимание и воображение создают событие. Событие – это нечто, что описывается и его описание одновременно, хотя и существуют некоторое противопоставление и различие события и его описания. Единственное существенное свойство события – его одновременное существование в двух мирах: материальном и идеальном. Однако существует только один мир – Вселенная и деление на два мира нам необходимо только для того, чтобы описать процесс математического моделирования.

Можно вообразить Вселенную как собрание событий. Реальная Вселенная отличается от нашего воображения: она не состоит из событий и очевидно всегда оказывается больше того, что мы можем вообразить. Однако, Вселенная как собрание событий, кажется, нам хорошим приближением. Каждое событие может быть определено его связями (отношениями) с другими событиями. Так, набор отношений (связей) определяет событие. Мы не знаем то, чем являются события, и мы не знаем, какова Вселенная. Однако, утверждение 'Вселенная представляет собрание событий' представляется нам имеющим некоторое значение. Смысл этого утверждения – то, что Вселенная структурирована, имеет определенную архитектуру, и можно выбрать определенное событие во Вселенной. Во всяком случае, мы чувствуем, что имеется некоторое различие и противопоставление модели и объекта моделирования. В то же время это есть нечто единое, что необходимо рассматривать вместе.

## **11.2 Принципы описания событий**

Событие, привлекающее наше внимание и описанное с помощью интуитивных понятий и утверждений, является предметом интереса исследователей. Можно ли говорить о каких-то общих особенностях событий уже на этом этапе перехода от интуитивного выделения к сознательному описанию?

### 11.2.1 Пространство и время

Исследователь фиксирует многочисленность событий, их влияние друг на друга, некоторые отношения между событиями. Можно бы сказать, что наблюдаемая Вселенная есть упорядоченное множество событий в силу того, что на множестве заданы некоторые отношения. Существующие отношения индуцируют четырёх-параметрический порядок на множестве событий – наблюдаемую нами геометрию пространства-времени, подобно тому, как, в простейшем случае, отношение "больше" выстраивает все числа в ряд и индуцирует одно-параметрический порядок – геометрию с пространством размерности единица.

Сколько и какие отношения нужно постулировать и с какими событиями следует иметь дело, чтобы объяснить четырёх-параметрический порядок нашего единственного мира, остаётся неизвестным, хотя, быть может, это и есть то самое главное, что нужно выяснить; возможные шаги в этом направлении обсуждаются в работах Кулакова (2004) и Владимирова (2010). Продвижение в понимании проблемы позволит установить перечень возможных отношений и понять возможны ли миры с геометрией "пространства-времени", отличной от нашей по размерности и свойствам.

А пока мы имеем единственную Вселенную с множеством событий, на котором заданы отношения, индуцирующие геометрию пространства-времени, и нам необходимы четыре параметра, чтобы указать место события среди других событий.

Удивительно, что в нашем мире временной порядок независим от пространственного с очень большой точностью, так что мы можем предполагать отношения двух типов. Отношения причинности индуцирует порядок, который мы называем временем, отношения взаимодействия определяют трёх-параметрическое пространство.

### 11.2.2 Принцип самосохранения

В силу существенной независимости пространства от времени оказывается возможным выделить некоторую пространственную структуру – *тело события*, так что связи внутри тела оказываются более значимыми, чем связи выделенного тела со всеми другими телами, и рассматривать отдельно его архитектуру и изменение во времени, хотя, конечно, не надо забывать, что тело события не существует без присущего ему движения. Описание тела события задаётся заданием параметров состояния  $w_j$  ( $j = 1, 2, \dots, r$ ),

которые естественно считать функциями времени, так что событию традиционно можно сопоставить набор функций

$$w_j = w_j(t, w_1, w_2, \dots, w_{j-1}, w_{j+1}, \dots, w_{r-1}, w_r), \quad j = 1, 2, \dots, r. \quad (11.1)$$

Эти функции, конечно, могут и не быть заданными в явном виде.

Естественно полагать, основываясь на наблюдениях и опыте, что, если на тело события ничего не действует, то тело события сохраняет своё состояние покоя или неотличимого от него внутреннего движения. Такое состояние можно считать естественным состоянием тела события, при котором все параметры состояния постоянны. Так, например, естественное состояние тела события: для классической частицы - скорость постоянна  $v = const$ . Это движение по инерции, когда нельзя сказать, движение ли это или покой. Для термодинамической системы в равновесии функции состояния постоянны  $E = const$ ,  $S = const$ .

Очевидно, что естественное состояние является некоторой идеализацией события, мы не можем избавиться от внешнего влияния. Существует взаимодействие тел, но, если мы хотим рассматривать одно событие, то мы должны ввести меру влияния внешних событий на рассматриваемое событие - силу. Переход от одного состояния к другому осуществляется под действием внешнего воздействия - некоторой соответствующим образом определённой "силы".

Любопытно, что можно указать общий характер реакция тела события на внешние воздействия: тело стремится уменьшить результат воздействия. В качестве примера можно указать, прежде всего, на движение тела: при внешнем воздействии появляется сила инерции. Другой пример: термодинамическая система в равновесии, подвергнутая воздействию, отвечает (изменяется) таким образом, что эффект влияния уменьшается до минимума (принцип Ле Шателье – Le Chatelier). Известно, что биологические объекты реагируют на внешние воздействия таким образом, чтобы обеспечить выживание: сохранение организма и вида.

Таким образом, при рассмотрении события всегда проявляется важный принцип, который можно назвать принципом причинной связи или принципом инерции или принципом самосохранения.

### 11.2.3 Примеры событий

Событием мы считаем и движение элементарной частицы, и изменение термодинамических систем и развитие популяции человека. Характеристики



некоторых событий приведены в Таблице 11.1. Элементарные частицы проявляют процессы на микроскопическом уровне с масштабами порядка  $10^{-15}$  см и временами порядка  $10^{-22}$  секунд. С другой стороны, космология ведет нас к временам порядка  $10^{10}$  лет ('возраст' Вселенной)

**Таблица 11.1 Характерные параметры событий**

Тело события	Протяженность метры	Время существования годы	Составные элементы
Ядро атома	радиус $10^{-15}$		
Атом	радиус $10^{-12}$		
Вирус	длина $10^{-7}$		$10^8 - 10^{10}$ атомов
Свет	длина волны $5 \cdot 10^{-7}$		
Человек	рост 1.5	$10^2$ , как особь $10^6$ , как вид	$10^{16}$ клеток $10^{28} - 10^{30}$ атомов
Земля	радиус $6 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^{51}$ протонов и нейтронов
Земная система	до Луны $4 \cdot 10^8$		
Солнечная система	радиус $6 \cdot 10^{12}$		
Галактика	радиус $10^{20}$		
Вселенная	радиус $10^{26}$	$2 \cdot 10^{10}$	$10^{80}$ протонов и нейтронов

и к расстояниям порядка  $10^{28}$  см (расстояние до горизонта событий, то есть, самое далекое расстояние, физический сигнал от которого может быть достигнут). В нашей Вселенной, в нашу Эпоху естественным образом выделяется четыре архитектурных уровня рассматриваемых событий:

Элементарные частицы.

Атомы и молекулы.

Простые и сложные термодинамические системы.

Надорганизменные системы.

Тело каждого последующего в списке события может быть сведено к совокупности тел событий из предыдущих уровней, но это не значит, что существует какой-то фундаментальный уровень описания событий. Нет никакого уровня описания, что мы могли считать элементарным. Хотя термодинамическая система состоит из атомов и молекул, термодинамические принципы формулируются независимо. Не существует никакого элементарного уровня описания, хотя существуют элементарные понятия (Niels Bohr, Бор).

### 11.3 Математическое моделирование

Целью математического моделирования является описание события с помощью математических инструментов. Конечной целью математического моделирования является установление принципов, позволяющие упорядочить известные факты и прогнозировать новые факты, которые могли бы быть включёнными в систему знаний. Математическое моделирование есть универсальный способ описания действительности, что даёт нам иллюзию понимания. Фактически, мы можем только описать действительность, свести одно событие к другому, соединить вместе множество событий... Математические модели являются описанием связи между явлениями, исследователи отказываются от призрачной цели "понимания явлений". Выполнение задачи математического моделирования и составляет работу прикладного математика, который в отличие от "чистого" математика, по словам Биргхофа (Birkhoff, 1969), "заботится о смысле своих слов и символов". Прикладная математика имеет дело с математическими конструкциями как с моделями "реальных объектов".

#### 11.3.1 Инструментальные средства описания

Как правило, все математические объекты, необходимые для построения модели, исследователь находит в готовом виде. Инструментарий для описания событий обеспечивается математикой, которая изучает специальные логические структуры - математические структуры (элементы и отношения). Это есть предмет исследования чистой математики (в противоположность прикладной математике).

Чистая математика изучает соотношения между различными математическими элементами. Например, существует определенное соотношение между

двумя математическими объектами: функцией

$$y = \sin t$$

и дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2y}{dt^2} + y = 0.$$

Действительно, функция является решением дифференциального уравнения соответствующая начальным условиям

$$y(0) = 0, \quad y'(0) = 0.$$

Математическая модель является некоторой математической структурой, которая, независимо от содержательного смысла модели, должна удовлетворять формальным требованиям таким как условия существования и устойчивости решения, самосогласованность, непротиворечивость.

Инвариантность относительно преобразований (Ширков, 1984)

### 11.3.2 Схема математического моделирования

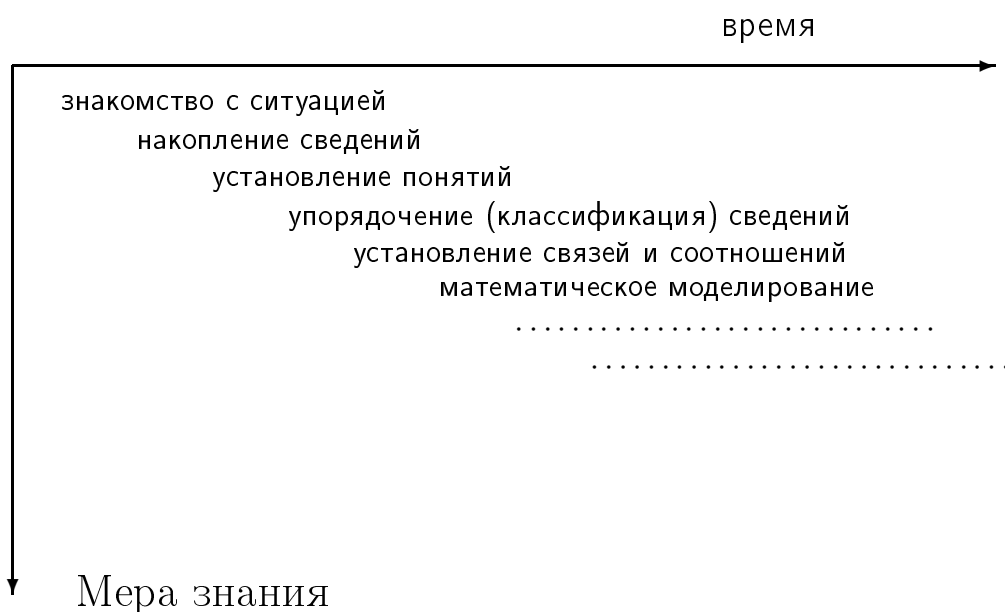
Математическое моделирование начинается тогда, когда элемент действительности сопоставлен математическому объекту - числу, прежде всего, затем, отношению между числами - функции, затем соотношению между некоторой величиной и скоростью изменения этой величины – дифференциальному уравнению и так далее. Это удивительно, что все математические объекты, даже довольно сложные конструкции, вроде матриц, спиноров, комплексных чисел используются для построения математических моделей. Созданный математический объект называют математической моделью, которая определяет систему понятий и создаёт язык, позволяющий нам описывать события и обсуждать соответствующие проблемы.

Попробуем описать последовательные шаги математического моделирования показанные также на рис. 11.1.

**1. Ситуация, которая должна быть понята,** возникает, когда чувствуется, что возникает проблема, в которой хотелось бы разобраться. Например, наблюдается изменение некоторой величины (положение тела или продукция производственной системы) во времени. При этом может иметься противоречие

в некоторых фактах. Обычно проблема формулируется в самом общем виде: "Сделайте так, чтобы нам было хорошо".

---



*Рисунок 11.1. Тяжкий путь познания.*

Описательный период и период формализации

---

**2. Выделение события из окружающей среды** оказывается результатом предварительного исследования ситуации. Выясняется, что является существенным и что может быть опущено в рассматриваемой ситуации. Устанавливаются существенные связи с окружающей средой. Описательная регистрация начинается.

**3. Схематизация события** означает введение понятий, символов для обозначения существенных величин и предполагаемых отношений между величинами.

**4. Цели моделирования.** Исследователь думает о проблеме, которая должна быть решена, и о результатах, которые могут быть получены.

**5. Математическая модель: первая итерация.** В конечном счете, формулируются некоторые отношения между величинами в общей форме. В простейшем случае изменение положения тела может быть измерено в последовательные моменты времени. Затем можно найти функцию, значения которой совпадают с зафиксированными значениями. Функция есть, конечно, математическая модель явления, которое может быть, таким образом, интерполировано между фиксированными моментами времени и экстраполировано вне рассматриваемого интервала времени. Чтобы получить более надежную экстраполяцию, можно использовать скорость роста величины. Математическая модель принимает форму дифференциального уравнения. Может случиться, что необходимо принять во внимание скорость роста скорости роста, чтобы найти более адекватную модель, и так далее. Последние случаи предполагают, что математическая модель содержит производные величины более высокого порядка. Это эквивалентно тому, что записывается система дифференциальных уравнений для нескольких переменных. Сколько переменных необходимо, чтобы описывать явление должным образом? (Закон Ньютона, как пример). Возможны различные модели, но они не эквивалентны. Выбирается наиболее адекватная модель, которая получает статус теории явления. Первая итерация является обычно наиболее трудным шагом от признания существования события к математической модели.

**6. Анализ модели** уточняет понятие величин и корректирует отношения между величинами.

**7. Сравнение с эмпирическими данными** выясняет достоинства и недостатки модели.

**8. Условия применимости модели**

**9. Соответствие с другими моделями**

**10. Основные свойства модели**

**11. Математическая модель: вторая итерация.** В отличие от первой итерации, вторая и последующие итерации имеют предшественника - математическую модель. При каждой итерации модель усовершенствуется, анализируется и сравнивается с новыми фактами. Количество итераций неограниченно: любая модель носит приближенный характер и может быть уточнена. Лучше начинать с простой модели, чем стараться из-за всех сил построить модель хорошую во всех отношениях. Поэтому я и привел схему моделирования, которая не является хорошей во всех отношениях, но для начала ей можно руководствоваться. Каждая конкретная ситуация требует индивидуального подхода. Не существует каких-либо методов, пригодных для всех случаев. Методы разрабатывают те, кто изучает конкретные ситуации: методы появляются по совершенно конкретному поводу.

### **Имитационное моделирование**

В некоторых ситуациях, математическая модель может быть осознана и исследована как имитационная модель моделирования. В последнем случае записывается моделирующий алгоритм, который реализует на компьютере имитацию элементарных процессов, составляющих сущность исследуемой системы с сохранением их логической структуры, последовательности протекания во времени и состава данных о состоянии системы. При имитационном моделировании мы должны иметь математическую модель, по крайней мере, в самом общем виде. Имитационное моделирование конкретизирует, дополняет модель объекта.

Имитационное моделирование используют, когда детали события недостаточно формализованы, как, например, при случайном блуждании Броуновской частицы с непересечением, или же, когда нет других средств решить задачу, например, при изучении течений в сплошных средах, при изучении динамики радиационного разрушения кристаллической решетки.

### **11.3.3 Математическая модель**

Математическая модель - сконцентрированная форма нашего знания, это - сертификат в том, что мы исследовали, знаем и, как следствие, можем управлять каким либо явлением. В то же самое время, математическая модель - мера нашего невежества. Функцией математической модели является хранение нашего знания в компактной форме.

Математическая модель является математическим объектом, и возникает вопрос об её отношении к объекту моделирования. Должны ли мы требовать, чтобы модель соответствовала реальности? Возможно, если бы мы знали, что такое реальность, но мы должны сказать нет, потому что мы не знаем, что такое реальность. Должны ли мы требовать (в случае, когда имеется развитая система математических моделей), чтобы модель соответствовала всем известным математическим моделям? Нет, потому что мы знаем, что некоторые известные модели, оказываются неадекватными, то есть не включают в описание некоторые факты. Мы не имеем никакой реальности кроме системы понятий и математических моделей. Невозможно иметь учение о реальности и учение о математическом моделировании реальности. Может ли читатель вообразить ситуацию, когда студентов физики учат вначале 'физике' и затем 'математическим моделям в физике'? Однако, такая ситуация в другой области не выглядит дикой: некоторых студентов учат "экономике", а других "математическим моделям в экономике". Это - свидетельство более низкого уровня развития системы экономических понятий и моделей по сравнению с системой понятий и моделей в физике.

Следует отметить, что математическая модель - нематериальный искусственный объект, и можно рассматривать построение модели как проектирование и построение любого материального искусственного объекта.

#### **11.3.4 Система моделей физики**

Следует заметить, что отражение реальности даёт не одна модель, а система взаимно согласованных моделей, и в заключение раздела укажем на пример системы моделей, которая может служить образцом, – систему моделей физики. Эта система оказалась наиболее разработанной, так что физику, точнее, теоретическую физику справедливо называют школой математического моделирования (Моисеев, 1979, стр. ??). Используемая вначале для описания явлений неживой природы, система моделей физики распространяется для описания явлений живой природы и общественных явлений. Теоретическая физика - синоним прикладной математики.

Сформулированные на основании опыта, физические теории строятся по образцу аксиоматических теорий: в основе их лежит набор утверждений, аксиом часто неочевидных, но, тем не менее, в своих следствиях совместимых с фактами. Примерами является механика, теория электромагнетизма, термодинамика. Фундаментальной особенностью физических моделей является то, что все величины предполагаются зависимыми от времени и пространственных

координат. Попытка избавиться от некоторых предположений при формулировке физических законов предпринята Кулаковым (Кулаков, 2004).

В основе математических моделей физики лежат эвристические представления, можно сказать, эвристические модели и эвристические принципы. Эвристические модели это те объекты, структуры, которые физики исследуют, например, идеальный газ, совершенный кристалл и многие другие. К эвристическим принципам можно отнести

Принцип симметрии (к вариантности).

Принцип соответствия. В случае, если событие может быть рассмотрено с различных точек зрения, например, как целое (феноменологическая модель) или же с рассмотрением детальной структуры (эвристическая модель) должно наблюдаться соответствие в результатах.

Принцип причинности и самосохранения.

Принцип подобия и соблюдения размерности (Баренблатт, 1982).

Принцип красоты и гармонии (Chandrasekhar, 1987).

Знание принципов и аксиоматический характер физических теорий позволяет получать некоторые утверждения дедуктивным методом, с помощью четких логических правил. Однако физические теории не строго дедуктивны. Физики используют непоследовательные теории.

## **11.4 Наука как общественный институт**

Мы думаем о науке как о системе понятий или как о системе моделей отражающих действительность, которой мы принадлежим. Научная деятельность включает деятельность по анализу фактов, изобретению моделей, установлению соотношения среди моделями... В этом отношении наука является развивающейся самоорганизующейся системой знаний. Нет никаких априорных принципов, принципы формулируются в развитии. Вместе с тем наука является общественным институтом.

### **11.4.1 Социальная функция науки**

Как общественное учреждение, наука поддерживается обществом и имеет, следует думать, важную социальную функцию. Какую же именно?



Иногда говорят, что наука объясняет Вселенную и доставляет понимание. Но внимательное рассмотрение научных достижений демонстрирует, что наука не имеет никакого реального основания, который позволял бы науке объяснять что -нибудь. Наука, или лучше сказать, люди, которые служат в науке, исследует фрагменты действительности, пробует связать различные фрагменты друг с другом и восстановить целое. Процесс не закончен и неясно может ли он быть закончен (Компанеев, 1978, стр. 194). Конечно, можно сказать, что достигается понимание, когда один фрагмент реальности связывают с другим фрагментом, но по большому счёту это всего лишь проявление императива упорядоченности.

Наука собирают и описывает факты, упорядочивает собранные факты. Известно, что образцы успешной классификации фактов оцениваются как существенные достижения науки. Как примеры, можно вспомнить классификацию растений в *Systema Naturae* (1735), *Fundamenta Botanica* (1736) и *Species Plantarum* (1753) выполненную шведским ботаником и исследователем Кароласом Линнаеусом (Carolus Linnaeus) и принцип периодичности (периодическая таблица) элементов (1869) российским химиком Дмитрием Менделеевым.

Упорядочение фактов выполняется очень хитроумными и сложными методами: для этого были изобретены некоторые абстрактные понятия, например, энергия, энтропия, стоимость. Для поиска дополнительных фактов, в которых исследователи нуждаются, чтобы заполнить пробелы в нашем знании, организуются специальные сложные и иногда очень дорогостоящие поиски новых фактов: вспомните, например, современные коллаидеры. Но цель поисков не факты, но принципы упорядочения.

Наука является общественным институтом, который имеет функцию упорядочения опыта людей. Наука собирает и упорядочивает факты, классифицирует события, вводит новые понятия, конструирует теории. Логика и интуиция сотрудничают. В конце концов, наука вырабатывает, одобряет и передает принципы упорядочения, о которых говорят как о законах природы. Но это не законы природы, а всего лишь эвристические принципы упорядочения.

Как незаменимый общественный институт, наука является частью общественной организации во все времена существования человека: от каменного века до наших дней. Понимаемая в широком смысле, наука начинается одновременно с началом становления людей, и в основе развития науки лежит императив упорядоченности. Уже в древние времена, упорядочение случайных наблюдений приводило к системе мыслей о природе и людях

- магии, которую можно рассматривать, если не как первую научную систему, то непосредственную предшественницу науки (Frazer, 1922, стр. 61 русского перевода). Греки, Вавилон. Современные системы научных понятий начинаются с 16 века (Галилео?). В наше время наука является элементом общественной системы наряду с другими учреждениями: армией, полицией, системой образования...

#### 11.4.2 О научном методе

Наука начинается с благородного беспокойства по поводу несогласованности фактов и явлений. Наш разум предпочитает иметь дело с теориями и общими законами, а не с большими накоплениями несвязанных данных, которые трудно запомнить. Различные теории организуют мир различными способами в соответствии с типом проблем, которые они предполагают разрешить.

В простейшем виде, возникновение научной теории может быть описано следующим образом. Чтобы связать (объяснить) определенные явления, предлагается гипотеза. Следствия из этой гипотезы проверяются наблюдением или экспериментом, с целью оценки соответствия развиваемых представлений фактам. Гипотеза возводится в ранг теории, если усилиями ученых во всём мире никакое противоречие не обнаруживается, или даже при наличии противоречий, поскольку практически оказывается невозможным одновременно увязать все доступные факты, модели и теории. В результате этих усилий создается некоторая схема (парадигма), принимаемая как образец интерпретации фактов. "Под парадигмой я (Kuhn, 1969) подразумеваю признанные всеми научные достижения, которые в течение некоторого времени дают научному сообществу модель постановки проблем и их решений." Парадигма существует до тех пор, пока под давлением новых и убедительных фактов новая гипотеза не завоеует признание, что воспринимается как революция в науке. Переход переживается очень болезненно, и, как писал Планк (1936, р. 97), "... новые научные истины побеждают не потому, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, редко случается, что Саул становится Павлом. На самом деле противники нового понимания постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу."

Проверка теории сводится к доказательству непротиворечивости сделанных в различных случаях предположений. При первоначальном высказывании утверждение имеет характер гипотезы, а затем после многократных проверок получает статус закона природы. При оценке справедливости гипотезы

важное место занимает мыслительный эксперимент.

Наука стремится к построению аксиоматических теорий. Однако под напором новых фактов аксиомы подвергаются сомнениям и, в конце концов, заменяются новыми. Меняется стиль исследований; как говорят (Kuhn, 1969), меняется парадигма. Как много нам нужно парадигм? Можем ли мы достигнуть окончательной парадигмы? Есть ли такого рода парадигма?

Самая высокая ценность научных теорий – 'их соответствие с реальностью'. Согласно Попперу (Popper, 1969), теория может считаться научной, если указаны методы её проверки. С точки зрения социальной эффективности, теории, которые объединяют большее число фактов, оказываются наиболее полезными, и общество должно поддерживать усилия в этом направлении прежде всего. Однако, существует много случайных обстоятельств: чтобы получить финансирование, группа может поддержать заведомо неверные теории, единственное преимущество которых состоит в том, что они являются их собственными. Самые сильные выживают.

### 11.4.3 Организация научных исследований

Новое знание появляется в сознании отдельных личностей. Эти личности объединены в формальных и неофициальных группах, институтах, лабораториях... Формальная организация включает университеты, лаборатории, институты... Неформальная организация основана на принятии одной и той же системы ценностей, принятии одной и той же парадигмы: невидимые колледжи, научные школы... Так как продолжительность жизни отдельных носителей знания ограничена, то существуют общественные учреждения хранения и передачи научного знания. Существует преемственность в науке, так что это - редкость появление научной школы из ниоткуда.

В установлении передаче научного знания принимают участие миллионы исследователей, например, в СССР в 1975 году было занято 1 223 000 в 1000 исследовательских учреждениях, из них примерно 320 000 кандидатов наук и 32 000 докторов наук.

Результаты науки - научная продукция - новые факты, новые понятия, новые модели (новое отношение между понятиями, моделями), предсказание новых веществ, организмов, принципы проектирования новых приборов и инструментов... В осязаемой форме результаты науки предстают в виде книг, статей а научных журналах, публикаций в интернете. По сообщению Капицы (1973) в 1975 году выходило приблизительно 10 000

000 статей в месяц. В том же году выпускалось приблизительно 100 000 научных журналов по всем дисциплинам и примерно 300 обзорных журналов. Числа журналов и обзорных журналов увеличивается вдвое каждые 15-20 лет, так что к настоящему времени эти цифры значительно возросли. К настоящему времени возник огромный научный архив.

Научное знание представляется как система понятий или как система моделей, и само знание нуждается в изучении. Возникла наука о науке (scientometrica), которая, среди прочего, описывает структуру научного знания (Добров, 1966; Налимов и Мульченко, 1969). Возникает необходимость классификации научного знания и научной деятельности.<sup>2</sup> Хотя каждая классификация оказывается условной и делается на основе различных подходов. Например, физические науки могут быть классифицированы по объектам изучения (физика твердого тела, физика жидкостей...), или по методам исследования (статистическая физика, вероятностные процессы...), но в каждом исследовании объект и метод присутствуют одновременно, так что каждая классификация оказывается условной. Тем не менее, классификации необходимы и важны особенно в деле обучения и образования, которое передает знание от одного поколения к другому.

#### 11.4.4 Профессия исследователя

Хотя наука представляется абстрактной системой, документированной в огромных архивах, носителями знания являются конкретные люди. Есть такая профессия – научный сотрудник, обязанность которого состоит в том, чтобы поддерживать научное знание, развивать и передавать его последующим поколениям. Однако скорее, исследователь - это не профессия, а стиль жизни (Batchelor, 1981, 1997). Научный сотрудник – специалист на разгадыванию загадок. Однако, исследовательская деятельность для научного сотрудника – способ существования, наука обеспечивает средства выживания для научного сотрудника. Это означает, что наука – это деловое предприятие со всеми признаками предприятий: соревнование, шпионаж, организация клана, мафия...

Давайте предположим, что некий молодой человек имеет намерение посвятить себя науке, войти в храм науки, или сделать карьеру в науке. Он чувствует, что он имеет призвание, чтобы заниматься исследовательской

---

<sup>2</sup>Одна из попыток была сделана французским физиком Ампером Андре Мэри (Andre Marie Ampere, 1775 - 1836), который также известен как один из основателей науки электромагнетизма.

работой, думать над загадками мироздания. В качестве первого шага он оканчивает университет, это необходимо, хотя есть редкие исключения: академик Зельдович, например, не имел высшего образования. После университета молодой человек приходит на работу в лабораторию, и он может быть немного разочарован, обнаружив, что, вместо исследования фундаментальных границ науки, он должен выполнять некоторую рутинную работу: измерять некоторую стандартную величину или вычислять в цифровой форме обычный интеграл, что не имеет никакого отношения к романтическим мечтам о новых открытиях. Молодой человек начинает понимать, что он попал на научную фабрику с феодальными порядками<sup>3</sup>, он обнаруживает множество людей, которые хотят убедить его делать бестолковую работу (Watson, 1993). Не смирившись, он шаг за шагом начинает разрабатывать своё собственное видение проблемы и, на некоторой стадии, он обнаруживает, что то, о чем научное сообщество думает как об истине, является неверным, новое предположение приводит к упорядочению большего числа фактов.... Это - новый результат, новое открытие... Молодой человек, который тем временем превращается в зрелого человека, представляет обнаруженное открытие членам лаборатории, которые одобряют логику рассуждений, но некоторые из сотрудников не приветствуют новое представление: возникает столкновение интересов. Всё же поощренный, наш герой, который теперь является профессиональным ученым, представляет полученные им результаты другой группе исследователей, он едет на конференцию, чтобы представить свои результаты и участвовать в обсуждении проблемы. Хотя невозможно сообщить все детали исследования, логика рассуждений непоколебима, преимущества нового подхода - очевидны, но... Новое разочарование!

Никакая работа не признаётся как вклад в науку, её часть, пока это не распространяется широко через доступные научные издания и внедряется в сознание исследователей. Статья с результатами исследования направлена в один из научных журналов. Положительная рецензия уже является оценкой вашего результата. Вас могут попросить изменить кое-что. Публикация в престижном журнале также является гарантией того, что на вашу работу обратят внимание. Резюме вашей статьи опубликовано

---

<sup>3</sup>Норберт Винер писал в своих воспоминаниях "Я - математик" (Наука, Москва, 1964, с. 343): "Я счастлив, что мне не пришлось долгие годы быть одним из винтиков современной научной фабрики и работать только над задачами указанными начальством. Родись я в эпоху нынешнего умственного феодализма, мне удалось бы достигнуть немногого. Я от всего сердца жалею современных молодых учёных, многие из которых обречены служить интеллектуальными лакеями."

в одном или нескольких реферативных журналах. Это, конечно, не значит, что все бросятся читать вашу статью, всё же это - лишь одна из, быть может, 100 000 000 статей появляющихся ежемесячно. Но всё же появляется некоторый интерес к вашей статье, в прежние дни вы получили бы просьбу выслать копию статьи. (Я: еquement), теперь электронные копии доступны в Интернете.

Ваши результаты обсуждаются другими учеными, некоторые ссылки на ваши статьи появляются в статьях других исследователей. Это показывает, что ваши исследования влияют на мнение научного сообщества, число ссылок используется как мера этого влияния. Это не означает, конечно, что все исследователи соглашаются с Вами. Но в конце концов Вам повезло: научное сообщество оценило и согласилось с вашими результатами, хотя и обратило внимание на некоторые недостатки и противоречия. Ваши статьи цитируются, обсуждаются в обзорных статьях. Результаты появляются в монографиях, в учебниках. Студенты учат вещи, которые были весьма неясны 10 - 20 лет назад, вещи, которые занимали вашу голову так долго и так тяжело.

Но очевидно, что описанное счастливое развитие события не является судьбой каждой статьи из общего числа 100 000 000! Чтобы быть успешным, Вы должны иметь дело с проблемой, проблемой, которая, как осознаётся многими, должна быть решена. Выбор темы исследования определяет значение ученого, но, говорят, учёный не нуждается в выборе проблемы, проблема сама находит исследователя. Далее, исследование протекает в некоторых организационных рамках, которые отчасти существуют в Вашем институте и отчасти должны быть созданы Вами. При этом, оказываются важными Ваши организационные способности и репутация.<sup>4</sup> Вы должны проявить Ваши дипломатические способности, чтобы не растерять Ваши успехи при привлечении почетных авторов и в силу, например, эффекта Матвея (Merton, 1968, 1988).

Впрочем, бизнес есть бизнес. Все средства хороши, чтобы получить деньги на финансирование проблемы. Нужно как-то исключить конкурентов,

---

<sup>4</sup>Как прекрасно сформулировал J.J. Хопфилд (Hopfield, 1997): "Репутация имеет существенное значение, чтобы получить поддержку исследования, работу, и продвижения по службе, и это определяет траектории карьеры в науке. Наибольший детерминант научной репутации - статьи, которые носят имя ученого. Способность представлять содержательные доклады на семинарах, воспитание молодых исследователей, и неофициальный обмен полезной информацией также влияет на репутацию."

конечно на принципиальной, научной основе. Соревнование появляется в форме борьбы идей в науке. Хороший способ получить финансирование состоит в том, чтобы изобрести надлежащую новую и важную проблему: ошибка тысячелетия, например, или глобальное потепление. Глобальная катастрофа также хороша для этой цели. Существуют также мошенничество, фабрикация данных, плагиат, и другие сомнительные методы в науке (Маршалл, 2000). Про этические стандарты в науке вспоминают теперь лишь время от времени.

## 11.5 Литература

- Г.С. Альтшулер. Алгоритм изобретений. М.: Московский рабочий, 1973, 283 стр.
- Г.С. Альтшулер. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979, 283 стр.
- Г. И. Баренблатт подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика. Теория и приложения к геофизической гидродинамике, Издание 2-е, переработанное и дополненное. Ленинград, Гидрометеиздат, 1982
- И.И. Блехман, А.Д. Мышкис и Я.Г. Пановко. Механика и прикладная математика. Логика и особенности приложений математики. М.: Наука, 1983, 328 стр.
- Владимиров Юрий Сергеевич. Пространство-время: явные и скрытые размерности. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. - 208 с.
- Гладкий А.В. Введение в современную логику. МЦНМО, Москва, 2001.
- Г. М. Добров. Наука о науке. Киев: Наукова думка, 1966.
- Зиновьев А.А. Фактор понимания. - М.: Алгоритм, Эксмо, 2006. - 528 с.
- П.Л. Капица. /О научной литературе./ УФН 111 (3), 535 (1973).
- Кулаков Ю. И. Теория физических структур. Альфа Виста, Новосибирск, 2004.

- Компанеец А.С. Симметрия в микро- и макромире. Наука. Главная редакция физ.мат. литературы, Москва, 1978.
- Н.Н. Моисеев. Математика ставит эксперимент. М.: Наука, 1979, 224 стр.
- Н.Н. Моисеев. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, Главная редакция физ.мат. литературы, 1981.
- В.В. Налимов. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971, 207 стр.
- В.В. Налимов. Спонтанность сознания. Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. Прометей, Москва, 1989.
- В.В. Налимов и З.М. Мульченко. Наукометрия. Изучение развития науки как информационного процесса. Наука, Москва, 1969. 192 стр.
- Д. Пойа. Математика и правдоподобные рассуждения. М.: Наука, 1975, 463 стр.
- А. Пуанкаре. О науке. М.: Наука, 1983, 560 стр.
- Д.В. Ширков. Ренормгруппа и функциональная автомодельность в различных областях физики. Теорет. и Математич. Физика 60 (2), 218 - 223 (1984).
- G.K. Batchelor. J. Fluid Mech. Preoccupations of a journal editor, **106** (?), 1 - 25 (1981).
- G.K. Batchelor. Research as a lifestyle. Appl. Mech. Rev. **50** (?), R11 - R20 (1997).
- Garrett Birkhoff. Mathematics and psychology. SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics) 11 (9), 429-469 (1969). Перевод: Г. Биркгофф. Математика и психология. Сов. радио, Москва, 1977.
- Edward de Bono. The use of lateral thinking. 1967.
- Leon Brillouin. Scientific uncertainty and Information. Academic Press, New York and London, 1964, p.164.
- Chandrasekhar S. Truth and Beauty - Aesthetics and Motivations in Science. University of Chicago Press, Chicago, 1987.



- J.R. Cole and S. Cole. The Ortega hypothesis. *Science* 178 (4059), 368 (1972).
- James A. Evans and Jacob G. Foster. Metaknowledge. *Science*, 11 February 2011: Vol. 331 no. 6018, pp. 721-725
- James George Frazer. *The Golden Bough*, London, 1922. Перевод: Д.Д. Фрэзер, *Золотая ветвь*. Изд. политической литературы, Москва, 1980.
- Hermann Haken, Maria Haken-Krell. *Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung Synergetik als Schlüssell zum Gehirn*. Ullstein, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, 1992. Перевод с немецкого: Хакен Г., Хакен-Крелль М. *Тайны восприятия*. - Москва: Институт компьютерных исследований, 2002, 272 стр.
- Jacques Hadamard. *An essay on the psychology of invention in the mathematical field*. Princeton University Press, Princeton, 1951. *Essai Sur La Psychologie De L'invention Dans Le Domaine Mathematique*, Traduit De L'anglais Par Jacqueline Hadamard. Librairie Scientifique Albert Blanchard, Paris. Перевод: Ж. Адамар. *Исследование психологии процесса изобретения в области математики*. Сов. радио, Москва, 1970.
- Carl G. Hempel *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. Free Press, New York 1965, Гемпель К. Г. *Логика объяснения*. М.: Дом интеллектуальной книги, Русское феноменологическое общество, 1998. - 240 с.; тираж 1000 экз.; ISBN 5-7333-0003-5.
- J.J. Hopfield. Authorship: Truth in Labeling. *Science*, 7 marth 1997, **275** (5305), p. 1403.
- J. J. Hopfield. Brain, neural networks, and computation. *Reviews of Modern Physics* **71** ( 2), S431 - S437 (1999).
- S. Karlin. "Mathematical Methods and Theory in Games, Programming, and Economics."Dover Publications, 1992. Перевод: С. Карлин. *Математические методы в теории игр, программировании и экономике*. Мир, М., 1964.

- Thomas S. Kuhn. *The Structure of scientific revolutions*. MIT Press, Cambridge, MA/London, 1969. Transl: Т. Кун. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977.
- Lilly, John Cunningham (1987). *Programming and Metaprogramming in the Human Biocomputer: Theory and Experiments (1st ed.)*. Communication Research Institute. 1968. (reprint ed.). Julian Press. 1987. ISBN 0-517-52757-X. – Перевод с английского: Джон Лилли. Программирование и метапрограммирование человеческого биокомпьютера. Киев, София, 1994. - 320 с - ISBN 5-7101-0033-1
- Eliot Marshall. How prevalent is fraud? That's a million-dollar question. *Science* 290 (1 December 2000), 1668 -1669.
- Merton, Robert K. (1968). The Matthew Effect in Science. *Science* 159 (3810), 56-63.
- Merton, Robert K. (1988). The Matthew Effect in Science, II: Cumulative advantage and the symbolism of intellectual property. *ISIS* 79, 606-623.
- Graham Nerlich. *What Spacetime Explains. Methaphysical Essays on Space and Time*. Cambridge University Press, New York, 1994.
- Planck M. *The phylosophy of physics*, trans. H.W. Johnston, Norton, New York, 1936. Перевод с английского: Планк М. Единство физической картины мира. Москва, 1966, с. 256.
- Karl R. Popper. *Conjectures and refutations*. Routledge and Kegan Paul, 1963, revised 1969.
- Karl R. Popper. *The logic of scientific discovery*. New York, 1970. Перевод: К. Поппер. Логика и рост научного знания. Москва, 1983.
- H.A. Simon. *The Science of the artificial*. Chicago: University of Chicago press, 1962. Transl: Г. Саймон. Науки об искусственном. Мир, М., 1972.
- Watson J. Succeeding in science: some rules of thumb. *Science* 24 September 1993: 1812-1813 DOI: 10.1126/science.8378784