

Д.А. ПОСПЕЛОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ



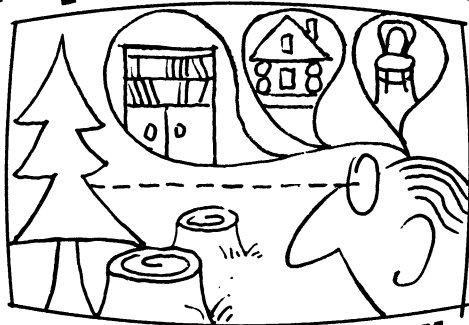
РАССУЖДЕНИЙ

РАДИО И СВЯЗЬ

Д.А. ПОСПЕЛОВ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАССУЖДЕНИЙ

Д.А. ПОСПЕЛОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ



РАССУЖДЕНИЙ

Опыт анализа мыслительных актов



МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ»
1989

ББК 32.81
П 62
УДК 007

Рецензент: канд. техн. наук Г. Н. Поваров
Редакция литературы по вычислительной технике

Поспелов Д. А.

**П 62 Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов.— М.: Радио и связь, 1989.— 184 с.: ил.
ISBN 5-256-00183-3.**

Описываются дедуктивные, индуктивные и правдоподобные модели, учитывающие особенности человеческих рассуждений. Рассматриваются методы рассуждений, опирающиеся на знания и на особенности человеческого языка. Показано, как подобные рассуждения могут применяться для принятия решений в интеллектуальных системах. Для широкого круга читателей.

П 1402070000-133
046(01)-89 67-89

ББК 32.81

Научно-популярное издание
ПОСПЕЛОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССУЖДЕНИЙ.
ОПЫТ АНАЛИЗА МЫСЛИТЕЛЬНЫХ АКТОВ**

Заведующая редакцией *Г. И. Козырева*. Редактор *Н. Г. Давыдова*. Художественный редактор *Н. С. Шенин*.
Художник *В. Н. Забайров*. Технический редактор *О. А. Гришкина*. Корректор *Л. А. Буданцева*

ИБ № 1483

Сдано в набор 4.01.89. Подписано в печать 30.05.89. Т-07820. Формат 60×88/16. Бумага офсетная № 2. Гарнитура «Тип Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,27. Усл. кр.-отт. 11,64. Уч.-изд. л. 12,61. Тираж 20 000 экз. Изд. № 21761. Зак. № 803. Цена 60 к.
Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 113054, Москва, Валуевская, 28.

ISBN 5-256-00183-3

Издательство «Радио и связь», 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Факты всегда таковы, что могут опровергнуть самую упрямую логику.

Ч. Р. Метьюрин. Мельмот Скиталец

В бурно развивающейся науке «искусственный интеллект» скрещиваются и переплетаются проблемы, которые давно волнуют специалистов самых разных научных направлений. Психологи и программисты, философы и инженеры, лингвисты и математики, биологи и кибернетики — все они в той или иной мере соприкасаются с проблемами искусственного интеллекта и участвуют в их решении. Данная книга посвящена одной из этих проблем — моделированию человеческих рассуждений. Интерес к моделированию рассуждений не случаен. Интеллектуальные системы создаются для того, чтобы овеществлять в технических устройствах знания и умения, которыми обладают люди, чтобы решать задачи, относимые к области творческой деятельности человека, не хуже людей. В интеллектуальные системы, особенно в те, которые получили название экспертных систем и предназначены для помощи специалистам в решении их задач, необходимо вложить знание о том, как мы рассуждаем, когда ищем решение. И если не говорить о математике и еще нескольких науках, опирающихся на точные и формальные модели, то наши схемы рассуждений — это тот самый аппарат, с помощью которого осуществляется значительная доля творческой деятельности.

Когда специалисты в области моделирования человеческих рассуждений начали свою работу, они столкнулись с тем, что человеческие рассуждения представляют собой нечто загадочное и детально никем не изучались. Казалось бы, в логике — науке о рассуждениях — за многие века ее существования должны были накопиться горы фактов о том, как люди делают выводы на основании знаний. Но, как выяснилось, логиков традиционно интересует лишь чрезвычайно узкий класс рассуждений, которые можно было бы назвать строгими, а остальные многочисленные формы человеческих рассуждений они не включают в свою компетенцию. Психология мышления также весьма сдержанно относится к тому, как формируются у человека схемы рассуждений и как он ими пользуется в конкретных ситуациях. Лингвисты, которые много занимались логическими проблемами естественного языка, остались далеки от понимания того, как носитель этого языка строит на нем свои схемы принятия решений. До появле-

ния работ в области искусственного интеллекта человеческие рассуждения оставались терра инкогнито. Даже само понятие «рассуждение» не получило точного истолкования.

Эта книга похожа на мозаичное полотно, в котором сделаны еще не все детали. Уже виден общий контур, удается схватить нечто, объединяющее между собой отдельные фрагменты, но до окончания работы достаточно далеко. И одна из главных задач книги — попробовать поставить вопросы, сформулировать проблемы, уточнить задачи, которые нужно решить для заполнения лакун в этой мозаике. Поэтому книга состоит как бы из отдельных сцен, выхваченных из некоторого целого. Эти сцены связаны между собой тем, что в каждой из них мы сталкиваемся с пока еще до конца неясным феноменом, который носит название «человеческие рассуждения».

Многие термины, которые будут встречаться в книге, например «посылки», «заклучения», «вывод», «логика», «рассуждение» и т. п., не получают строгого определения. Почему — станет ясно из чтения книги. Ее пафос — такое понимание рассуждений, которое намного шире чисто логического истолкования этого термина, приводимого в известном учебнике В. Ф. Асмуса: «Рассуждением называется ряд суждений, которые все относятся к определенному предмету или вопросу и которые идут одно за другим таким образом, что из предшествующих суждений следуют другие, а в результате получается ответ на поставленный вопрос» (**Асмус В. Ф.** Логика.— М.: Госполитиздат, 1947, с. 147).

В тексте книги нет ссылок на литературу. Все сведения об использованной и цитируемой литературе даны в комментарии, завершающем книгу. Там же приводится ряд замечаний к отдельным разделам книги, а также указана дополнительная литература, относящаяся к кругу затронутых вопросов.

Проблемы моделирования рассуждений представляют интерес для специалистов по интеллектуальным системам и искусственному интеллекту. Об этой области исследований, термины которой встречаются на страницах книги, можно прочитать в ранее изданной книге автора «Фантазия или наука? На пути к искусственному интеллекту» (М.: Наука, 1982.— 280 с).

Глава первая.

У ИСТОКОВ ФОРМАЛЬНЫХ РАССУЖДЕНИЙ

Даже если ваше объяснение настолько ясно, что исключает всякое ложное толкование, все равно найдется человек, который поймет вас неправильно.

*Следствие из Третьего закона
Чизхолма*

Правое и левое

Метафора правостороннего и левостороннего мышления возникла в начале семидесятых годов. В 1972 году американский врач Орнстайн провел эксперименты с людьми, у которых были перерезаны межполушарные спайки. Это привело к тому, что оба полушария стали действовать практически независимо. Такая операция была вынужденной, она избавляла больных от тяжелого недуга.

До этого предполагалось, что полушария человеческого мозга действуют, как бы резервируя друг друга. Имела хождение гипотеза о том, что надежность работы мозга определяется двойным резервированием выполнения его основных функций. Но поведение людей с рассеченной связью между полушариями заставило отказаться от этой соблазнительной гипотезы. Оказалось, что механизмы мышления, сконцентрированные в различных полушариях, кардинально отличаются друг от друга. У подавляющего большинства людей, которые являются правшами, левое полушарие, управляющее правой стороной тела, характеризуется тем, что в нем локализован центр речи. У врожденных левшей этот центр локализован в правом полушарии. Но мы в дальнейшем будем говорить для определенности о правшах.

Тонкие эксперименты и наблюдения позволили специалистам накопить немало сведений об особенностях механизмов работы левого и правого полушарий. И хотя многое здесь еще не выяснено до конца, многое неизвестно, но уже сейчас ясна основная разница между ними. Левое полушарие в своей работе опирается на то, что принято называть самосознанием. Весь окружающий мир как бы делится на два четко разграниченных пространства: «Я» и «не-Я». Между этими пространствами стано-

вится возможным активное взаимодействие. Поэтому левополушарное мышление можно было бы назвать активным. Процедуры, реализованные в нем, позволяют активно воздействовать на элементы пространства «не-Я» и, в частности, осуществлять предметную деятельность в этом пространстве. Для того чтобы это стало возможным, необходимо уметь расчленять содержимое пространства «не-Я» на отдельные составляющие. Функции анализа, декомпозиции целого на части — прерогатива левого полушария. Это расчленение происходит благодаря возможности оперирования с признаками конкретных объектов в пространстве «не-Я».

Пространство «Я» также подвергается декомпозиции. Мы воспринимаем себя не только как единое целое, но и как взаимосвязанную совокупность отдельных частей. Левое полушарие обеспечивает как бы вынесение точки наблюдения за пределы пространства «Я». Эта точка наблюдения и характеризует самосознание, отделенное от пространств «Я» и «не-Я». Возможно, что субъективное ощущение «выхода из тела» при принятии ряда препаратов (например, ЛСД), когда сознание кажется сконцентрированным в некоторой точке вне тела, на которое можно «смотреть извне», как раз и характеризует эту особую функцию левополушарного мышления.

Теперь самое время подчеркнуть, что на страницах книги термин «левостороннее» и «правостороннее» (левополушарное и правополушарное) мышление являются условными. Не надо думать, что у человека существуют как бы две различные системы мышления. Мышление человека, конечно, процесс единый, в котором одновременно участвуют оба полушария головного мозга. Но те специфические механизмы мышления, которые в основном локализуются в одном из двух полушарий, удобно объединять в группы, называемые левосторонним и правосторонним механизмами мышления.

Однако левое полушарие способно не только к анализу, разложению всего воспринимаемого в пространствах «Я» и «не-Я» на составляющие. Оно способно к установлению сходства и различия между выделенными частями целого по наличию или отсутствию общих признаков. Механизмы обнаружения сходства и различия между конкретными объектами становятся основой для простейших логических операций: отождествления и различения.

То, что мы описали, характеризует мышление, которое можно было бы назвать конкретно-ситуационным. Но левое полушарие способно на большее, чем такое мышление. Оно способно как бы «оторвать» признаки от конкретного объекта и приписать их абстрактному объекту, обладающему этими признаками. Такие признаки можно назвать категориальными. С их появлением связан и следующий шаг в развитии мышления — образо-

вание понятий. Понятия есть совокупности категориальных признаков, определенным образом связанных между собой.

Мы уже говорили, что речевой центр находится в левом полушарии. Появление речи невозможно без механизма образования понятий. Каждому понятию, синтезированному в левом полушарии, соответствует звуковой код, называющий это понятие. Оторванность понятий от конкретной предметной ситуации дает возможность перехода к абстрактным символам, соотносимым со словами языка. А это, в свою очередь, делает естественный язык мощным инструментом символьных преобразований. Так появляется *понятийное мышление*. Оно строится на *конкретно-ситуационном мышлении*, оперирующем с механизмами сходства-различия, *эмпирическом мышлении*, когда выделенные признаки оцениваются с точки зрения прагматической, функциональной (этим предметом из-за его формы можно рубить дерево), и *категориальном мышлении*, опирающемся на манипулирование с категориальными признаками.

Эти четыре типа мышления соотнесены с речью. Процедуры, связанные с ними, могут вербализоваться, т. е. описываться в виде текстов на естественном языке. Так возникают, в частности, тексты человеческих рассуждений, основанных на рациональных предпосылках и на осознанных шагах вывода.

Правополушарное мышление обладает иными особенностями. В отличие от левого полушария, которое способно любую конкретную ситуацию во внешнем мире (в пространстве «не-Я») отделить от «Я» субъекта, развести временной и пространственный контекст, в котором существует данная конкретная ситуация, правое полушарие оперирует неразделенными образами конкретных ситуаций (гештальтами), в которых объекты вместе с их отношениями и признаками неразрывно связаны с временем и пространством, а также со всем отражением этого в эмоционально-волевой сфере «Я». В правом полушарии возникают чувственные образы реального мира. С его помощью происходит созерцание этих образов, или застывших в полной неподвижности, или текущих, постоянно меняющихся во времени и пространстве.

Как и для левого полушария, для правого полушария можно выделить несколько уровней или типов мышления. Это *образно-ситуационное мышление*, воспринимающее образы ситуаций, маркированных временными и пространственными отметками и соотнесенных неразрывно с тем эмоциональным фоном, на котором они наблюдались. На этом уровне правостороннего мышления также реализуются операции типа сходство-различие. Но эти операции касаются не признаков, которыми оперирует левое полушарие, а тех комплексов ощущений-состояний, в которых фиксируются отдельные ситуации. В памяти правого полушария хранится своеобразный кинофильм, кадры которого представ-

ляют собой следующие друг за другом чувственные образы ситуаций, каждая из которых существует как кадр киноленты обособленно от других, но образует связный фильм при последовательном их прокручивании.

Следующим уровнем правополушарного мышления является *наглядно-образное мышление*. В отличие от левополушарного механизма «взгляда со стороны», когда самосознание как бы извне анализирует отгороженные друг от друга ситуации в пространствах «Я» и «не-Я», правосторонний механизм «взгляда со стороны» смешивает эти две ситуации, рассматривает их как единое и неразрывное целое. Расплывчатые и трудно уловимые представления и переживания, связанные с некоторой ситуацией-гештальтом, операциями типа «сходство-различие» объединяются в классы ситуаций, которые левое полушарие никогда бы не сблизило между собой. Аналогия и ассоциация — основные механизмы этих объединений. Они порождают чувственные образы предметов и ситуаций, выступающих в виде единиц, которыми оперирует наглядно-образное мышление.

Высшим уровнем правополушарного мышления служит *символическо-образное мышление*. На этом уровне возникают символические системы, в которые группируются те или иные образы. Эти системы связаны друг с другом цепями аналогий и ассоциаций различной силы. Любой образ, переходя из системы в систему, трансформируется, изменяется, сохраняя лишь то, что составляет его суть.

Правополушарные образы и действия с ними не находят прямой вербализации. Их словесное описание практически невозможно, как невозможно словами описать впечатление от увиденного потрясшего нас пейзажа. И если для левополушарного мышления характерна единственность того объекта, с которым оно в данный момент оперирует, то для правополушарного мышления характерна множественность, неопределенность этого объекта. Многие яркие сновидения, в которых красочные картины сменяют друг друга в самых немислимых ассоциациях, являются порождением правого полушария.

Подведем некоторые итоги. Самое важное для того, о чем говорится в этой книге, это наличие многих типов мышления и прежде всего левостороннего и правостороннего мышления. Логика человеческих рассуждений, возникшая еще в Древней Греции и благополучно дожившая до наших дней, занималась и занимается лишь теми механизмами, которые характерны для левостороннего мышления. А это значит, что вне этой науки остались все способы принятия решений, опирающиеся на нерасчлененные образы правого полушария, преобразуемые сложными операциями ассоциативного типа. Вклад правосторонних механизмов в творческую деятельность огромен. Интуиция, озарение, догадка, поэтический образ — порождения правого полу-

шария. Без этого остается лишь левое полушарие, функции которого чрезвычайно близки к функциям программиста, формирующего алгоритм решения нужной задачи для компьютера или исполнительного механизма типа станка с программным управлением.

Конечно, это очень грубая метафора. Но она отражает суть дела. Если продолжить ее, то можно сказать, что в голове у человека как бы действуют две машины. Левосторонняя машина похожа на современный компьютер. Она оперирует с отдельными элементами, образуя из них некоторые правильные последовательности, соотносит эти последовательности с реалиями внешнего мира и некоторыми реалиями внутреннего мира (с левосторонним компонентом пространства «Я»), планирует предметную деятельность во внешнем мире и анализирует накопленный опыт. Она создает классификацию всех знаний, накопленных в процессе жизнедеятельности, опирающуюся на вербализованные признаки и отношения, оперирует с формально-логическими системами и делает многое другое, что умеет, в принципе, делать программа для компьютера.

Правосторонняя машина на компьютер совсем не похожа. Она работает параллельно, используя ассоциативный принцип. В ее операциях нет четко выраженной цели, планирования на основе этих целей, программирования последовательности операций. В этой машине текут непрерывные процессы, аналогичные волновым, и конечный результат ее деятельности никогда не фиксируется в виде единственно возможного. На сегодняшний день у нас нет технических аналогов правосторонней машины. Мы не знаем, как ее моделировать, ибо пока еще слишком немного знаем об особенностях ее функционирования.

Сказанное ограничивает содержание книги. В дальнейшем наши модели будут в подавляющем большинстве случаев касаться левостороннего мышления, и лишь изредка мы будем соприкасаться с тем, что происходит в молчаливом правом полушарии.

Пралогическое мышление

Термин «пралогическое мышление» был введен в науку совсем недавно. Его не надо понимать как синоним дологического мышления. Логика в пралогическом мышлении, конечно, есть (без этого невозможен феномен мышления), но она во многом отличается от той логики, к которой мы привыкли. И прежде всего тем, что правостороннее мышление играет в пралогическом мышлении куда большую роль, чем в современном мышлении, которое развивалось от доминирующего правостороннего мышления наших далеких предков к постепенному доминированию левостороннего мышления.

В повести Уильяма Голдинга «Наследники» сделана попытка описать мышление неандертальца. Именно попытка, ибо правостороннее мышление неадекватно тексту на естественном языке. Среди неандертальцев, описанных Голдингом, некоторые уже умеют говорить, но слова пока еще находятся в зачаточном состоянии. Проще и быстрее не говорить, а «видеть внутри головы» и сопереживать с сородичами одинаковые картины, возникающие во всей их полноте и эмоциональной окрашенности. В повести небольшая группа неандертальцев сталкивается с «новыми людьми» — кроманьонцами, у которых левостороннее мышление достигло куда большей силы, чем у неандертальцев. Мотивы и цели их поведения с трудом воспринимаются даже Локом — наиболее овладевшим словом членом небольшой группы неандертальцев. Он долго наблюдает жизнь становища кроманьонцев, пытается понять систему отношений, связывающих между собой наблюдаемые, не расчлененные для него ситуации, и в какой-то момент в его сознании вспыхивает огонь прозрения. Вот как этот момент описывает Голдинг:

«Лок обнаружил «Сходство». Сам того не ведая, он замечал вокруг некое сходство всю свою жизнь. Грибы на стволе дерева были совсем как уши, и само слово было то же самое, однако различалось в зависимости от обстоятельств, когда его никак нельзя было приложить к слуховым отверстиям по бокам головы. Теперь, мгновенно постигая столь многое, Лок обнаружил, что пользуется сходством в качестве орудия столь же уверенно, как разрубал раньше камнем сучья или мясо».

Осознание сходства как операции — это шаг Лока в сторону левостороннего мышления, отрыванию самой операции от окружающего ее контекста ситуации. А всякое такое отчленение, изоляция есть отход от неразрывности правосторонних образов. Но процесс такого отчленения, переход к анализу отдельных частей ситуации и к понятийному мышлению растянулся на многие тысячелетия. И в наше время существуют человеческие сообщества, для которых этот процесс все еще не завершен и доминанта правостороннего мышления все еще не преодолена.

Крупнейший специалист по пралогическому мышлению Л. Леви-Брюль сформулировал общий для этого уровня развития мышления *принцип сопричастности (партиципации)*. Вот, как он его поясняет в своей книге «Первобытное мышление»: «В коллективных представлениях первобытного мышления предметы, существа, явления могут быть, непостижимым для нас образом, *одновременно* и самим собой и чем-то иным. Не менее непостижимым образом они излучают и воспринимают силы, способности, качества, мистические действия, которые ощущаются вне их, не переставая пребывать в них». Это свойство позволяет, например, индейцам бореро считать, что они одновременно являются и самими собою и тождественны своему тотем-

му-попугаю араара. Причинные связи между явлениями — не те, которые выделяются левополушарными механизмами, а те, которые носят мистический характер, вытекающий из принципа сопричастности. Как пишет тот же Леви-Брюль:

«Сознание испытывает по меньшей мере безразличие, если не отвращение к логическим операциям *... Пралогическое мышление является синтетическим по своей сущности. Я хочу сказать, что синтезы, из которых оно состоит, не предполагают, как те синтезы, которыми оперирует логическое мышление, предварительных анализов, результат которых фиксируется в понятиях. Другими словами, связи представлений обычно даны здесь вместе с самими представлениями. Синтезы в первобытном мышлении появляются в первую очередь и оказываются почти всегда ... неразложенными и неразложимыми».

Приходится лишь удивляться тому, как Леви-Брюль сумел угадать в конце двадцатых годов, что в пралогическом мышлении ярко проявляются те механизмы восприятия мира, которые диктуются особенностями правого полушария.

Отметим еще некоторые особенности пралогического мышления, частично отмеченные Леви-Брюлем, а в остальной части — другими исследователями, работавшими позже.

1. В пралогическом мышлении тесно переплетаются коллективные мифологические представления и индивидуальные рациональные представления о внешнем мире и своем положении в нем. Мифологический компонент представлений теснейшим образом связан с правополушарными механизмами, а рациональные представления опираются на реальный опыт трудовой деятельности, реальные манипулирования с предметами внешнего мира и реальные наблюдения за его закономерностями. Симбиоз этих представлений, которые с логической точки зрения, как правило, противоречат друг другу, в пралогическом мышлении не вызывает никаких трудностей. Мир реальный и мир мифологический описываются различными законами. Если в первом возможно только то, что не противоречит жизненной практике, то во втором может быть все то, что невозможно в реальном мире. Но эти миры сосуществуют одновременно, они пронизывают друг друга, и любой предмет реального мира одновременно является предметом и мира мифологического, соединяя в своей сути и конкретную реализацию в окружающем человека мире, и символ, в виде которого он входит в неизменную систему образов мифологического мира. Поэтому становится возможным отождествление различных объектов реального мира в мире мифологическом (вспомним о представлениях бореро: они и попугаи араара одно и то же, хотя, конечно, бореро в реальном мире отличают араара от представителей своего племени).

* Конечно, тут речь идет о сознании, связанном с правым полушарием.

Итак, из того, что $A \neq B$ в реальном мире вовсе не следует неравенство этих объектов в мире мифологическом, а из верности некоторого утверждения в реальном мире (мифологическом мире) вовсе не следует его верность в мире мифологическом (реальном). Уже здесь впервые в человеческом сознании появляется идея о множественности возможных миров, в каждом из которых царят свои законы и свои правила рассуждений.

Какие-то осколки мифологического компонента пралогического мышления дожили и до наших дней. Когда мы читаем сказки, в которых волки разговаривают, бескрылые кони переносят героя по воздуху, не тратя на это времени, а клубок шерсти показывает правильный путь к цели, то, несмотря на то, что вся повседневная практика нашей жизни говорит, что так не бывает, мы все-таки не отбрасываем от себя тексты, противоречащие нашим знаниям о мире, а с удовольствием погружаемся в странный мир сказки. Не только сказки, но и мифы, легенды, былины донесли до нас очарование того пласта мифологических представлений, которые для наших далеких предков были насыщены той же жизненностью, как и обычные повседневные представления. И в нашей памяти мирно уживаются утверждения A и не- A , ибо они разносятся нами на разные «полочки» в соответствии с теми возможными мирами, в которых верны A или не- A .

2. Для пралогического мышления может быть сформулирован закон подобия: то, что внешне подобно, имеет одинаковую сущность и может использоваться одинаково. Изменение внешнего облика объекта, как следует из этого закона, неумолимо приводит к изменению его сущности, к потере им тех свойств, которыми этот предмет обладал вначале. Из этого закона вытекала тесная связь, которая устанавливалась между духовными качествами человека и окружающим его материальным миром. Он же лежал в основе тенденции наделения свойствами материальных объектов духовной деятельности людей. Тотемом первобытного племени могло быть не только живое существо, но и неодушевленный предмет, который в силу закона подобия, ассоциативного сходства с какими-то частями человека или элементами его деятельности становился заместителем человека.

Можно сказать, что закон подобия, применяемый некритически, порождал тот непрерывный поток ассоциативных замещений, который столь характерен для потока образов, рождаемых правым полушарием.

3. В пралогическом мышлении память играет особую роль. Образы правого полушария, которые мы уже сравнивали с кадрами фильма, составляют основу этой памяти. Она играет более важную роль, чем вывод. Вспомнить что-то аналогичное или ассоциативно связанное с текущим образом-ситуацией —

это значит и осуществить своеобразный вывод. Если что-то вспоминается вслед за мелькнувшей в сознании картиной, то фиксируется зависимость этих представлений. Закон превращения соположения во времени следования факторов в каузальную связь их, конечно, логически не оправдан. Но именно он позволял людям, находящимся на стадии пралогического мышления, заполнять огромные пробелы в их знаниях о взаимосвязях в окружающем мире. Этот закон обеспечивал надежность поведенческих решений в ситуациях, где человек впервые сталкивался с явлениями и фактами. Но законы коллективных представлений и накопленный собственный (пусть ошибочный!) опыт помогали ему принять решение, для которого не было никаких логических обоснований.

4. Люди, у которых правое полушарие доминирует над левым, эмоционально весьма чувствительны. Именно поэтому в их памяти так ярко запечатлеваются образы-ситуации. Высокая эмоциональность тех, для кого характерно пралогическое мышление, несомненна. Особенно легко возбуждаются в них аффекты страха и гнева. На фоне этих аффектов фиксируется классификация знаний об окружающем мире и своем месте в нем. Изгнание за нарушение табу из племени, как правило, приводит к смерти, ибо интеграция себя и рода настолько высока, что изгнание вызывает волну страха, превышающую границу возможного. Отсюда вера в то, что сохранение табу обеспечивает сохранение психологического гомеостаза существования, чувства слияния с родом или племенем в единый организм. Сохранение табу — основа неизменности жизни, статичности ее. Всякое изменение опасно, ибо с каждым изменением меняется сущность вещей и самого мира. Отсюда стремление к таким действиям и решениям, которые не противоречат жесткой системе ограничений, идущих из мифологических представлений даже тогда, когда реальный мир и реальные представления сигнализируют о бессмысленности или опасности принимаемых решений. Критерием выбора тут служит не прагматическая польза или верность принимаемых решений, а их соответствие принятой без всякой критики системы табу.

5. С самого начала развития сознания и самосознания, сначала коллективного, а потом и индивидуального, возникли *оппозиционные противопоставления*, которые мы будем (по причинам, которые станут ясны позже) называть *оппозиционными шкалами*. Первой такой оппозицией является противопоставление МЫ — ОНИ. Кто же эти МЫ и ОНИ? На этапе образования первобытных орд и племен, когда индивидуальное мышление еще всецело сливалось с коллективным, МЫ характеризовало представителей той общности, к которой принадлежал индивид. Все, кто входит в состав МЫ, живут по одним и тем же законам, в рамках ограничений одних и тех же табу. А если

кто-то пользуется иными законами, то он находится в оппозиции к тому, как надо жить. Он не может принадлежать к МЫ, и поэтому он не-МЫ, а следовательно, ОНИ.

Такая шкала порождает совокупность разделенных пространств МЫ и не-МЫ, свойства которых различны. Это позволяет считать, что ОНИ находятся вне наших законов, вне нашего опыта и ИМ можно приписывать все, что угодно. Так появляются живущие где-то далеко люди с пёсыми головами, фаги, пожирающие все вокруг, и другие ОНИ. Возникает форма рассуждения, основанная на этой оппозиции, оправдываемая ею: «ОНИ не такие, как МЫ, и, следовательно, ИХ надо уничтожать». В более поздней форме эта схема становится менее жесткой.

Оппозиционные шкалы типа МЫ — ОНИ не исчерпывают всех типов оппозиции. В силу свойств правостороннего мышления идея бинарной оппозиции начинает переноситься и на другие объекты, создавая как бы образующие, относительно которых упорядочивается статическая картина мира. Возникают оппозиции: правый—левый, мужской—женский, восток—запад, верх—низ, внутри—снаружи и т. п. В силу ассоциативности правостороннего мышления все эти оппозиционные шкалы в каком-то смысле эквивалентны. Правое начинает отождествляться с мужским и верхом, левое — с женским и низом. Возникает единая система противопоставлений, в которых концевые точки оппозиционных шкал описывают дуалистическую картину мира, сводясь к разбиению всего пространства на пространства «МЫ» и «не-МЫ».

И до наших дней в народных поговорках, пословицах, заповедях мы легко обнаруживаем остатки рассуждений, опирающихся на оппозиционные шкалы, концы которых соотнесены с нашим, дружественным нам пространством и пространством враждебных нам ОНИ. Вот примеры из румынского фольклора, записанные в XIX—XX веках: «Когда кукушка поет слева — нехорошо, когда справа — все пойдет хорошо», «Если весной увидишь ангела в небе, во время жатвы у тебя не будет болеть поясница, если на земле, то будет» или «Если землетрясение бывает днем — к богатству, ночью — к убытку».

Значительно позже бинарные шкалы начинают превращаться сначала в тернарные, а затем и в шкалы с еще большим числом позиций. Такое превращение приводит к переходу от неподвижного и неизменного мира мифологических представлений к динамическому, постоянно изменяющемуся миру реальностей. На рис. 1 показано, как оппозиционная шкала МЫ — ОНИ превращается в тернарную шкалу МЫ — ВЫ — ОНИ. Кто же такие эти ВЫ? Они возникают в зоне столкновения МЫ и ОНИ и служат посредниками между двумя ранее резко отделенными друг от друга общностями (рис. 1, а). Постепенное

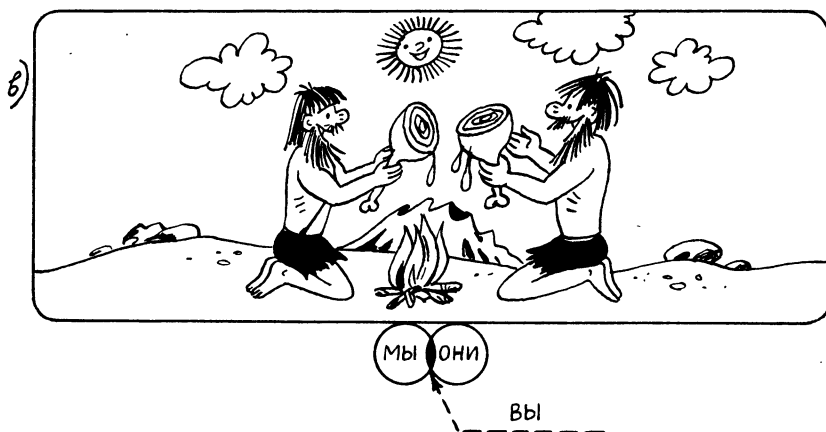
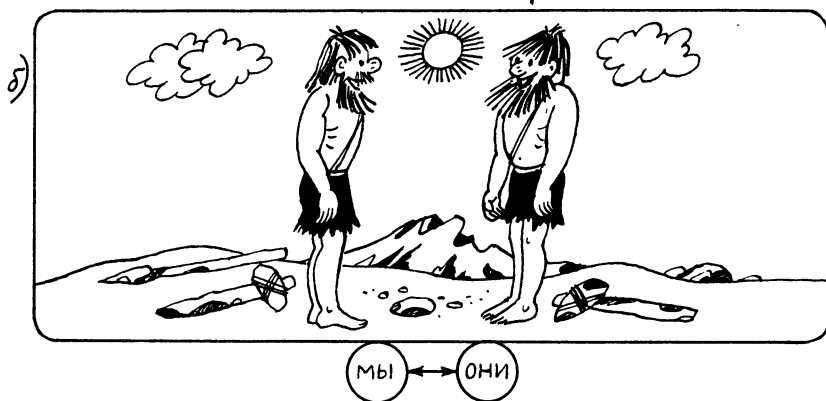
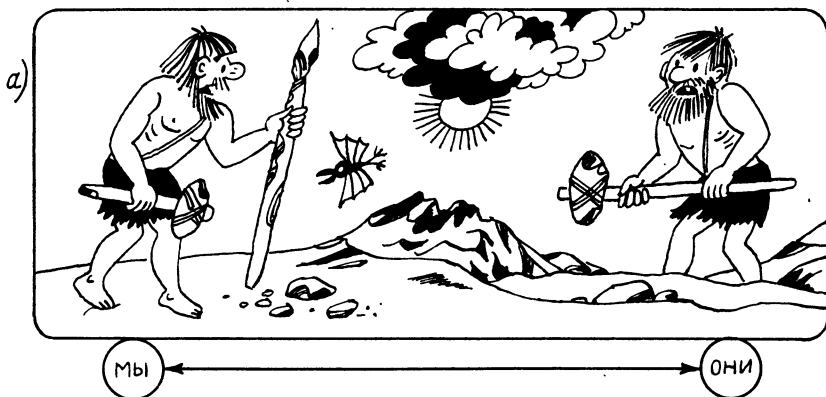


Рис. 1

сближение МЫ и ОНИ приводит к узнаванию друг друга (рис. 1, б). Возникает контакт людей. Все люди имеют нечто общее, ибо мифологические представления всех народов и племен древности развивались по общим схемам, порожденным похожими жизненными условиями существования и общностью механизмов мышления.

Когда относительно недавно состоялся первый контакт маленькой группы людей, живших на одном из Андоманских островов, с представителями современного человечества, то ни те, ни другие не сомневались, что перед ними существа, близкие им. Это был контакт различных культур, но это был контакт людей. Наступает момент, когда МЫ и ОНИ начинают контактировать, и тогда возникают ВЫ, которые еще МЫ, но уже не ОНИ (рис. 1, в). ВЫ характеризуют динамику, переход ИХ в НАС. Это может быть приход жены из другого племени или превращение ребенка во взрослого после обряда посвящения (инициации). Но ВЫ может характеризовать и обратный переход от НАС к НИМ: изгнание из племени, уход женщины племени к мужу в другое племя и т. д.

Подобно этой тернарной шкале, на которой появляется пограничное значение ВЫ, возникают ассоциативно связанные с нею тернарные шкалы с пороговыми значениями: верх — низ, внутри — снаружи, свет — тьма и т. п. С реальными объектами (порог дома, окно, перекресток дорог, граница леса и т. п.), которые выступают в виде центральной позиции на бывших бинарных оппозиционных шкалах, начинают связываться мифологические представления и обряды. А за ними возникают и рассуждения, опирающиеся на свойства мифологизированных пограничных элементов. В том же корпусе румынских фольклорных наставлений, примеры из которого уже приводились, есть и такие: «Не смотри внутрь дома через окно снаружи, потому что он разрушится» или «Кто на этом свете сделает колодец, у того будет вода на том свете».

Дети, родители и взрослые

Слова, вынесенные в заголовок этого раздела, не надо понимать буквально. За ними скрывается нечто иное. Именно эти термины использовал известный американский психотерапевт Е. Берне, создавший теорию *транзакционного анализа* для объяснения поведения людей в конфликтных ситуациях. Здесь не место разбирать эту теорию, подвергать ее критике или защищать. Это не дело автора. Судить о транзакционном анализе должны специалисты. Но для нашей цели весьма интересны и любопытны отдельные положения, высказанные Е. Берне и его учениками. Они имеют непосредственное отношение к схемам человеческих рассуждений, как право-, так и левосторонним.

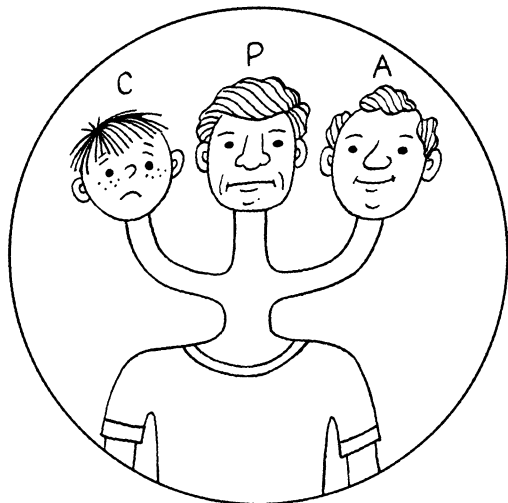


Рис. 2

По мнению сторонников транзакционного анализа, в каждом из нас одновременно сосуществуют как бы три личности, названные в этой теории «ребенок», «родитель» и «взрослый». В любой момент нашей жизни одна из этих ипостасей является доминантной, диктуя нам присущий ей стиль поведения и общения. От того, сколь часто в качестве доминанты выступает та или иная ипостась, люди по своему поведению приближаются к ребенку, родителю или взрослому.

Три ипостаси, показанные на рис. 2, следуя традиции транзакционного анализа, будем обозначать соответственно *С*, *Р* и *А*.

Для нас интересно различие между ипостасями с точки зрения разных знаний, связанных с ними, и разных используемых ими схем рассуждений. Пласт знаний *С* невербален. Это эмоциональные переживания, накопленные человеком примерно до пятилетнего возраста, когда его речь окончательно сформировалась. Данный пласт знаний во многом подобен тем картинам, которые проносились в мозгу Лока — неандертальца из повести Голдинга. Ребенок, еще не овладевший речью, так же, как Лок и его сородичи, «видит картины в своей голове», и в этих картинах неразрывно связаны реалии внешнего мира и те эмоциональные переживания, которые им сопутствуют. Этот пласт знаний порождается не только структурами правого полушария мозга, относящимися к новой коре, но и глубинными структурами мозга. В своей книге «Драконы Эдема» К. Саган говорит о той роли, которую играют эти структуры, объединенные в лимбическую систему (гипофиз, гипоталамус, гиппокамп и миндалина), на

первых порах нашей жизни. Сильные и яркие эмоции, сновидения, наполненные звуками, красками и запахами (огромно значение запахов для порождения эмоций), страх и ужас, радость и восторг — все это порождение лимбической системы, запечатлевающей в памяти индивида детские знания.

Родительские знания лежат где-то на границе между вербальными и невербальными знаниями. Это весь пласт знаний, воспринимаемых нами в период нашего детства без всякой критики. Вера, а не критическая эмпирическая убежденность, лежит в основе этих знаний. Зачастую они также имеют яркую эмоциональную окраску. Но эмоции здесь несколько иные. Гнев и ярость, бурные страсти и саднящие душу противоречия, презрение и бесчувственность сопровождают этот пласт знаний, в образовании которых кроме новой коры левого и правого полушарий принимает участие глубинное структурное образование, которое К. Саган называет *R*-комплексом. По его мнению, эта часть мозга досталась нам от рептилий, и она все еще переживает те думы, которые принадлежали динозаврам. *R*-комплекс играет определяющую роль в агрессивном поведении, чувстве собственной территории, он является основой возникновения оппозиции **МЫ** — **ОНИ**. В утверждениях, связанных с родительским пластом знаний, содержатся все табу, все мифологические представления о мире и своем месте в нем. Беспрекословное выполнение этих указаний — основа манипулирования с родительскими знаниями.

Знания взрослого целиком принадлежат левому полушарию. Это осознанно добытые индивидуумом знания, которые осмыслены критически (возможно, проверены практикой), хранящиеся в памяти не в качестве пассивного корпуса сведений, а как совокупность фактов и процедур, нужных для повседневной деятельности в реальном мире. К этому же пласту относятся и некоторые правополушарные знания, которые либо не вербализируются, либо вербализируются с большим трудом. Это те знания, которые практически отсутствуют в виде текстов на естественном языке и не входят в многочисленные учебники по различным сторонам человеческой деятельности. Обычно мы их называем навыками, умением, профессионализмом. Умение танцевать, изготовлять особо сложную деталь, ездить на велосипеде и многое другое нельзя объяснить ученику с помощью текстов, порождаемых левым полушарием. Единственный вид овладения ими — это подражание, сопереживание вместе с учителем самого процесса.

Три различных пласта знаний порождают три различных класса схем рассуждений. Для детского пласта это даже не рассуждения, а некоторые переживания или сопереживания. Наиболее показательна схема рассуждения «Хочу β ». А если для получения β необходимо, чтобы сначала было α , т. е. необходимы посылки α для получения β , то детский способ рассуждений

таков, что существование α просто постулируется. Вот пример рассуждения, основанного на детском пласте знаний:

- Купи мне велосипед, как у Андрея!
- Но он же велик для тебя. Вот вырастешь, тогда куплю.
- Купи! Я уже вырос.

Рассуждения, характерные для пласта знаний P , совсем иные. Эти рассуждения, как уже говорилось, основаны на вере, на авторитетах, на традициях. Исходные посылки α в схеме рассуждения «Если α , то β » даже не проверяются. Их наличие вечно. Поэтому β всегда может быть выведено. Если выводы, опирающиеся на знания пласта C , можно было бы назвать *эмоциональными правилами*, ибо в основе требования на получение β лежит сильное эмоциональное желание этого, то выводы, опирающиеся на пласт знаний P , можно назвать *мифологическими* или *религиозными правилами*. В этих выводах посылки α порождены слепой верой в их истинность. Вот, например, как говорится о необходимости этой веры в «Книжке индийского мышления» А. Ч. Бхактиведанты Свами Прабхупады, изданной в наши дни:

«Ведические принципы принимаются как неопровержимые, так как они не могут содержать ошибок. Это значит принимать ... В Индии, если один говорит другому: «Ты должен поступать так!» — другой человек может переспросить: «Почему ты так думаешь? Разве это ведическое предписание, что я должен следовать тебе без каких-либо доказательств?» Ведические предписания нельзя извращать. В конечном счете, если вы внимательно изучите значение этих предписаний, то найдете, что все они безошибочны».

Следуя рассуждениям родительского уровня, первобытные охотники перед охотой танцуют вокруг изображения животного или духа зверей. Эта схема может быть выражена в виде следующей сентенции: «Все наши предки плясали перед выходом на охоту, и из этого следовала удача на охоте». Желание удачи велико, но для того, чтобы для ее возникновения обеспечить все необходимые посылки, надо не только реализовать все свое умение и применить практические знания из пласта A , но и выполнить все то, что происходит из пласта P . Современный человек, идущий на экзамен или в другое место, в котором будут решаться важные для его будущности вопросы, на пожелание «Ни пуха ни пера!» отвечает «Пошел к черту», даже не задумываясь, что этот обмен репликами восходит к тому пласту знаний P , который весь пронизан мифологическими представлениями.

С правилами, зафиксированными в схемах такого рода, тесно связан еще один закон, характерный для пралогического мышления. Это закон отказа от отрицательных примеров. Когда магические обряды приносили пользу, то положительный результат приписывался магическим действиям. Если же вместо пользы

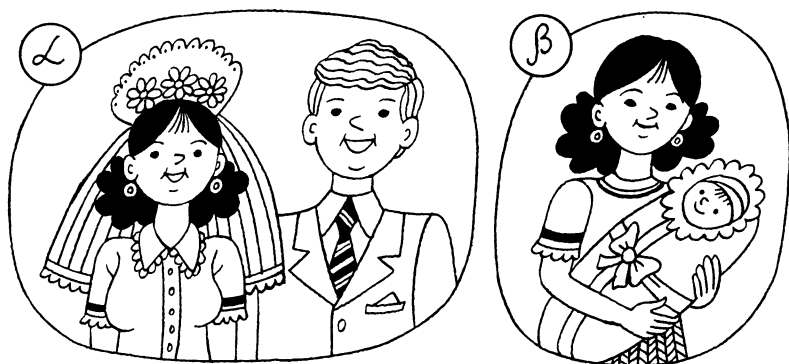
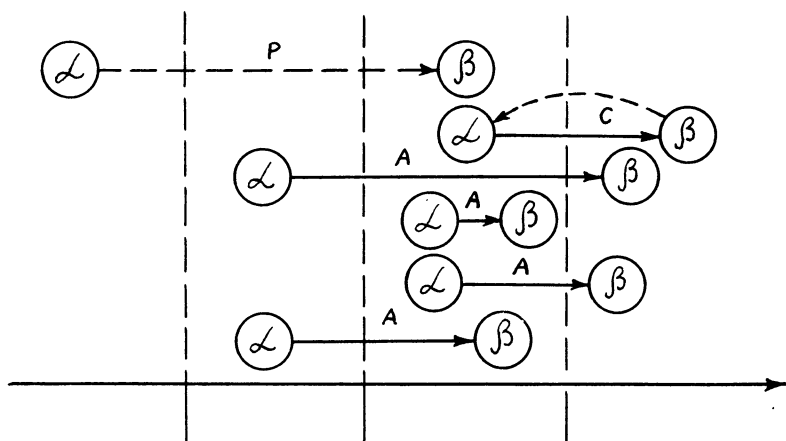


Рис. 3

возникал вред, то это вовсе не заставляло критиковать магические послышки. Дело объяснялось проще: кто-то применил более сильную магию против или магические действия были выполнены без соблюдения всех необходимых условий. Незыблемость послылок не мог поколебать никакой отрицательный пример.

Рассуждения, опирающиеся на знание A , это обычные рациональные рассуждения, выводящие β при условии, что все послышки подвергнуты критике и не отклонены субъектом.

Схемы рассуждений типа «Если α , то β », принадлежащие трем различным ипостасям человека, можно сопоставить со схемой, показанной на рис. 3. Из этой схемы видно, что на уровне P послышки α находятся где-то в прошлом, а заключение β присутствует в настоящем. Это прошлое может быть столь

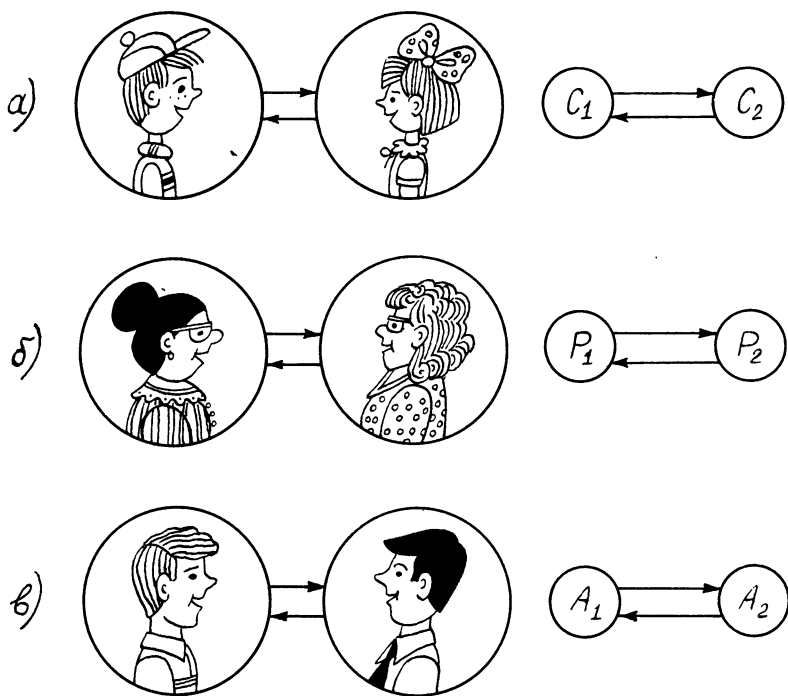


Рис. 4

далеким, что α просто забыты, и реализуется редуцированное правило вывода, утверждающее, что имеет место β . На уровне C β находится в будущем. Это очень желаемая цель, а наличие α постулируется в настоящем, оправдываемое желанием β . Наконец, на уровне A действует обычная схема, в которой и посылки, и заключение реализуются в настоящем, либо посылки и заключения отнесены к различным временам, но верность этих посылок и верность связи между α и β субъект четко и критически осознает в настоящее время.

Интересно посмотреть, как взаимодействуют между собой два человека с точки зрения той доминирующей ипостаси, которая у них имеется. На рис. 4 показано взаимодействие, которое в транзакционном анализе называется *параллельной транзакцией* (транзакция — это любой акт взаимодействия людей, который является элементарным, т. е. не разложим на более простые транзакции). На рис. 4, а показана параллельная транзакция для уровня C . Уже говорилось, что на этом уровне вербальное общение практически отсутствует. Транзакции уровня C — это совместные эмоциональные переживания, что-то вроде того,

когда неандерталец Лок одновременно с членами своей орды переживал одни и те же картины, которые «виделись в голове». Когда маленькие дети, скатываясь группой с горки, оглушительно совместно визжат или когда, оказавшись в темноте, они инстинктивно прижимаются друг к другу, испытывая общий страх, то это и есть транзакция, показанная на рис. 4, а. В ней могут участвовать не только дети. Взрослые также могут получить общее эмоциональное переживание (например, от совместного слушания музыки), для которого вербализация, как правило, не нужна.

Параллельные транзакции на уровне *P* (рис. 4, б) чаще всего вербализируются, хотя эта вербализация очень своеобразная и относится к тому типу диалога, который характеризуется поддержанием разговора при минимальных затратах на проникновение в смысл того, что говорит собеседник. Примером такого «разговора» может служить следующий диалог между случайными попутчиками в поезде:

- Посмотрите на этих парней! И это современная молодежь!
- Да, конечно, когда мы с вами были молодыми, так вести себя никто бы себе не позволил.
- Вот именно. А разве прилично так одеваться, как они?
- Совершенно с вами согласна. Это не одежда, а просто балаган какой-то. Они делают это, как нарочно.
- И ведь, знаете, курят...

Подобный диалог можно продолжать сколь угодно долго. Ведь тема неисчерпаема, а мнение собеседниц, их знания, основанные на пласте *P*, во многом однотипны.

Параллельные транзакции на уровне *A* (рис. 4, в) куда интересней и содержательней. При таких транзакциях собеседники общаются друг другу новые знания, получая удовольствие от этого процесса, отстаивают свою точку зрения в споре, ведущемся на честной основе, координируют совместную деятельность.

Кроме параллельных транзакций бывают еще *непараллельные*, когда взаимодействующие персонажи обладают различными ипостасями. На рис. 5 показано несколько случаев такого взаимодействия, приводящего к определенным схемам диалога. Проиллюстрируем эти случаи конкретными примерами. Буквы при диалогах соответствуют буквам на рис. 5. Первая реплика принадлежит персонажу 1, вторая — персонажу 2.

- а) — Посмотрите на этих парней! И это современная молодежь!
- Ну, что вы! Вполне хорошие парни. Наверняка, как и мы, размышляют о жизни, учатся, работают. Это в вас просто проявляется обычное заблуждение, что каждое новое поколение хуже предыдущего, потому что непохоже на него.

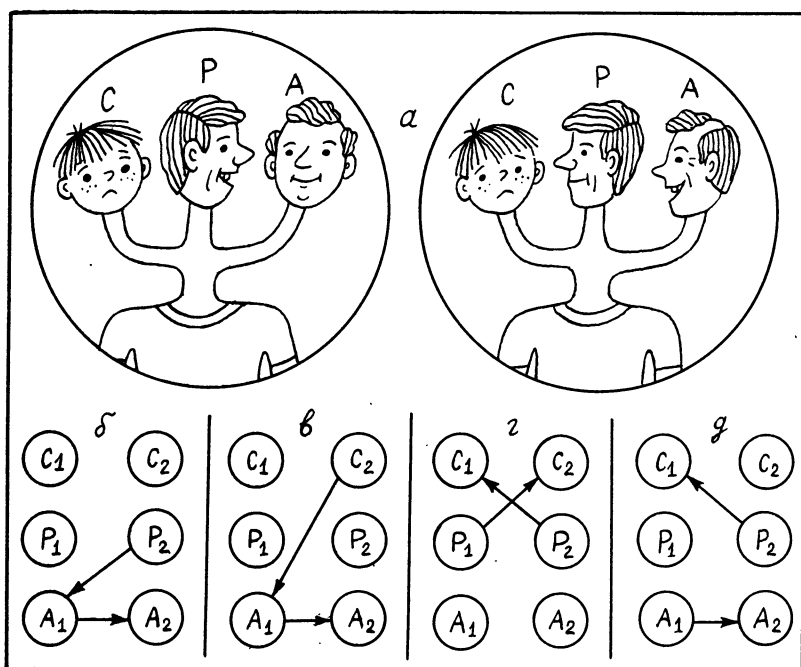


Рис. 5

- б) — Дорогая, ты не знаешь, где моя шляпа?
 — Там, где ты ее бросил! Ты никогда не можешь ничего класть на место.
- в) — Дорогая, ты не знаешь, где моя шляпа?
 — Почему ты вечно мной недоволен и кричишь на меня?
- г) — Иди, убери свою комнату! Никак от тебя нельзя добиться порядка.
 — Не приказывай мне! Я уже не маленькая, хватит! Не ты тут хозяйка, а папа!
- д) — Извини, папа. Я обязательно к завтрашнему утру должен закончить эту работу.
 — Почему ты вечно все оставляешь на последний день?!

Как видим, основой высказываний при непараллельных транзакциях могут быть как правосторонние знания уровней C и P , так и знания, относящиеся к уровню A . Это порождает разнообразие схем, приведенных выше. Оно может быть расширено за счет привлечения иных вариантов непараллельных транзакций. Непараллельные транзакции порождают специальные схемы человеческих взаимодействий, которые можно назвать *транзакционными играми*.

В конце этого раздела упомянем еще об одном виде транзакций — *скрытых транзакциях*. Примеры таких транзакций при-

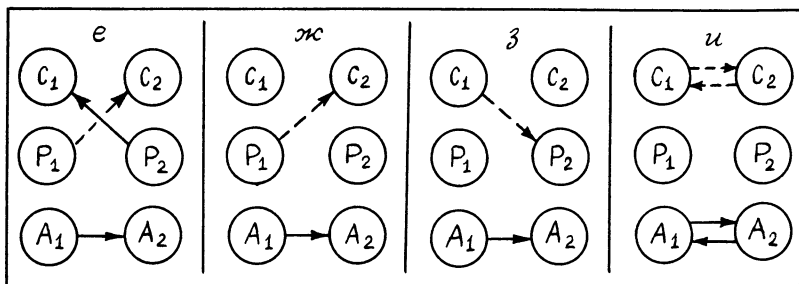


Рис. 6

ведены на рис. 6. При скрытых транзакциях вербализуется одна связь, но истинная связь скрывается за этой внешней оболочкой. Приведем два диалога, иллюстрирующие схемы, показанные на рис. 6. Как и ранее, сами диалоги помечены теми же буквами, что и схемы на рисунке.

е) — Куда ты припрятала мои очки?

— Ты, что ослеп! Вот же они, лежат прямо перед тобой!

Внешне персонаж 1 обращается к персонажу 2 на уровне А, но употребленный им сознательно глагол «припрятала» показывает, что он выражает свою обиду тем, что жена вечно перекладывает его вещи на другое место и ему трудно их найти. Отсюда скрытая транзакция с уровня Р к уровню С собеседника.

ж) Используя крышку полированного стола, покрытого слоем пыли, муж пишет жене на столе «Я тебя люблю». Это высказывание внешне выглядит как обращение к жене с приглашением к параллельной транзакции на уровне А. Но скрытая транзакция при этом иная: «Хорошо бы, хотя бы изредка, убираться в доме!»

з) Исходная ситуация аналогична предшествующей, но скрытая транзакция мужа: «Не сердись за шутку, содержащую упрек».

и) На выставке молодой художник говорит симпатичной девушке, которая заинтересовалась его работами:

— Самые хорошие мои работы не здесь, а в мастерской. Приходите ко мне сегодня вечером, я вам их покажу. Девушка, которой понравились не только (а может быть, и не столько) картины, но и их автор, отвечает.

— Это приглашение для меня очень лестно. Я приду.

Скрытые транзакции, как и непараллельные, лежат в основе многих человеческих рассуждений, причины и посылки которых скрыты внешним слоем высказываний. При незнании скрытого подтекста эти высказывания часто кажутся лишенными логики.

Как рассуждает ребенок

Какие наблюдения можно сделать, изучая как ребенок овладевает мышлением? Какие тайны приоткрываются в знаменитом возрасте «от двух до пяти»?

Период «от двух до пяти» особый. Это переходный период, на котором доминанта правого полушария постепенно под влиянием развития речи и научения манипулированию со словами, заместителями реальных предметов, постепенно сменяется доминантой левого полушария. И лишь очень немногие из детей — будущие поэты, музыканты и некоторые другие проходят через горнило этих лет, сохраняя доминанту правого полушария.

Мы уже говорили, что мышление ребенка до овладения речью строится на основе правосторонних механизмов. Но вот в его речи стали появляться отдельные звуковые цепочки. Это означает, что в левом полушарии начала активизироваться та ее часть, которая связана с порождением составляющих звукового кода. Из огромного числа звуков начинают формироваться устойчивые классы — фонемы. Для того чтобы фонемы возникли, требуется выделить ряд признаков, по которым звуки объединяются в классы. Затем возникает слово. Но его категориальное значение размыто, текуче, слово еще вплавлено в ту ситуацию, в которой оно встретилось. Если малыша спрашивают: «Где бабушка?» и он поворачивается к фотографии, висящей на стене, делая указательный жест рукой, то, если ему задать тот же вопрос, предварительно убрав фотографию, он снова в ответ на него будет поворачиваться и указывать рукой на место, где эта фотография висела. На этом этапе слово еще накрепко связано с ситуацией, неотделимо от нее.

Отделение слова от образа-ситуации происходит в возрасте где-то от полутора до двух лет, когда наступает овладение морфологией языка. Это период словотворчества, в недрах которого слова начинают сортироваться по морфологическим признакам. Возникают слова для обозначения предметов, отношений между ними, признаков и действий. Возникают первые классификационные схемы — зачаток использования знаний о мире для определения понятий и самых простых выводов. Не обладая еще способностью выделения категориальных признаков, мышление ребенка на этом этапе относится к тем типам, которые в начале этой главы мы называли конкретно-ситуационным и эмпирическим.

Когда малыша подобного возраста просят определить, что такое собака, он может, например, показывая на место укуса сказать: «Она меня вот сюда укусила». Конкретные и категориальные совокупности часто сосуществуют одновременно:

- Скажи, Андрюша, кто водит паровоз?
- Машинист. Дядя такой, он в будочке сидит.
- А кто ломает игрушки?
- Петя. Он пехороший.

И лишь постепенно, когда категориальное мышление становится преобладающим, на последний вопрос ребенок может ответить словом, сотворенным им в этот момент: «Ломатель».

В процессе дальнейшего развития ребенок последовательно овладевает различными типами высказываний. Сначала у него появляется способность к номинации, т. е. называнию предметов, затем он учится высказываниям, в которых локализуется местонахождение предметов. Чуть позже возникают императивы, в которых содержатся просьбы и приказания о тех или иных действиях. Затем возникают формы высказываний, предназначенных для описания различных событий и ситуаций. На этом этапе возникает возможность замещения невербальных образов-ситуаций правого полушария их вербализованными обедненными описаниями левополушарного типа. Потребность в коммуникации, общении компенсирует это обеднение, а сама коммуникация происходит на положительном эмоциональном фоне. На следующем шаге становится возможным выражение отношений между частями предметов и ситуаций, а также отношений принадлежности. Почти одновременно возникают тексты, в которых описываются качества тех или иных предметов, их прагматические и категориальные признаки. И лишь после этого ребенок овладевает такими сложными высказываниями, как вопрос или отрицательное утверждение.

Наблюдения за развитием естественных языков, сопоставление их в генетическом плане наводит на мысль о том, что путь развития человеческого мышления в разных местах земли с неизбежностью проходил одинаковые ступени, зафиксированные в языковых средствах. Этот путь пока еще не до конца ясен, многие участки его еще не исследованы, но в самом общем виде он включает в себя следующие семь этапов.

1. Улавливание связи между предметами или фиксация ее отсутствия при самом общем и недифференцированном понимании связи.

2. Выявление посессивной связи, т. е. связи во времени следования одних событий или ситуаций за другими.

3. Выявление партетивной связи, т. е. связи типа часть-целое или целое-часть.

4. Выявление контактно-дистанционных связей как во времени, так и в пространстве, т. е. введение отношений типа раньше, позже, далеко, соприкоснуться и т. п.

5. Выявление связей объектно-субъектного уровня, с помощью которых становятся возможными высказывания о реалиях, находящихся вне субъекта, и его взаимоотношениях с ними.

6. Введение пространственных связей с отношениями типа снаружи-внутри, большой-маленький, далеко-близко.

7. Введение и использование темпоральных (временных) отношений, отличных от дистанционных.

Эта совокупность этапов структуризации внешнего мира описывает постепенный переход от мира, в котором мифологическое и реальное тесно переплеталось и взаимодействовало, к миру, где

эти два представления оказываются резко разделенными. В конце этой эволюции правое и левое мышление отделяются друг от друга, и возникает доминанта левого над правым.

Дети в своем развитии как бы повторяют движение по этим этапам, постепенно овладевая тем, что составляет основное достижение современного человека — понятийным мышлением.

Особенности человеческих рассуждений

Пора подвести некоторые предварительные итоги. В этой вводной главе сделана попытка дать эскизный очерк тех оснований, на которых строится человеческое мышление, и, в частности, человеческие рассуждения. Сформулируем все сказанное выше в виде набора кратких утверждений.

1. Обычное представление, что мышление человека рационально, что все рассуждения человека имеют вербализуемые послышки, в корне неверно. Рациональный компонент в мышлении занимает определенное место, а вербализуемый компонент — лишь небольшую часть этого места. Человеческие рассуждения основываются не только на левосторонних механизмах, но и на механизмах, характерных для правостороннего мышления. Эмоциональные рассуждения, рассуждения, опирающиеся на родительский пласт знаний, рассуждения на основе скрытых от вербализации аналогий и ассоциаций порождаются правосторонними механизмами и не погружаются в рациональные логические схемы. Вот пример диалога врача-психотерапевта с пациентом, у которого ассоциации и аналогии столь случайны и необоснованны, что его умозаключения строятся вне привычной человеческой нормы (диалог приведен в одной из статей известного специалиста в этой области А. Добровича). Реплики врача и больного маркированы буквами В и Б.

В.: Чем вы встревожены?

Б.: Я знаю, меня хотят убить.

В.: Почему вы так думаете?

Б.: Когда я шел домой, на улице стоял неизвестный человек.

В.: Что это значит?

Б.: Он хотел меня убить.

В.: Почему вы так думаете?

Б.: Он держал в руке пачку «Беломора».

В.: Что это значит?

Б.: (со слезами на глазах): Убийство.

В.: Почему?

Б.: «Беломор» означает белый мор, гибель.

В.: Означает ли это еще что-нибудь?

Б.: Вообще, это название канала. Но в данном случае — намек, потому что меня хотят убить.

Цепь ассоциативных связей может оказаться зашифрованной и в текстах людей вполне здоровых, но с подавленными механизмами правополушарного мышления. Поэзия и проза поэтов дают тому немало примеров. Достаточно открыть прозу или стихи Цветаевой, Мандельштама, Вознесенского, чтобы убедиться в огромном богатстве ассоциаций, сцепляющих между собой отдельные образы, картины и мысли.

2. Для выводов на уровне знаний ребенка и родителя (уровни S и P в транзакционном анализе) характерна не полная форма вывода, а усеченная. При выводе на уровне P посылки могут полностью или частично отсутствовать, подразумеваться или даже не осознаваться. В этом случае β начинает выполняться всегда, когда некоторая ситуация пригодна для этого процесса. Ситуация не есть истинная посылка α , вызывающая β , а лишь маркер той ситуации, в которой «Если α , то β » когда-то имело место. При выводе на уровне S посылки α порождаются не реальностью или убежденностью, что они имеют место, а желанием достижения β . Такие усеченные формы вывода чрезвычайно распространены в человеческой практике.

3. В основе многих рассуждений лежат преобразования на шкалах, с которыми соотносятся элементы рассуждения. На эти шкалы проецируются знания человека об окружающем мире и о себе самом. В этой главе подробно рассказано лишь об оппозиционных шкалах, но далее будут описаны и иные типы шкал.

Приведем в качестве примера три шкалы, показанные на рис. 7. Первая является шкалой тяжести уголовных преступлений. Чем правее лежит точка на этой шкале, тем более тяжелым считается преступление. На второй шкале отмечены сроки наказания, назначаемые за совершенные преступления, а на третьей шкале в некоторых условных единицах отмечены оценки способности заключенного к полному исправлению после наказания. Эти три шкалы на рисунке соответственно обозначены буквами P , H и I . Пусть уголовный кодекс некоторой страны предписывает за преступление x_1 применять наказание y_1 . И пусть ситуация (x_1, y_1) дает оценку шанса на исправление z_1 . Тогда если преступление x_2 более серьезно, чем преступление x_1 (например, x_1 соответствует драке, а x_2 — краже), то естественно ожидать, что наказание за кражу должно быть большим y_1 , а z_2 должно быть меньшим, чем z_1 , или в крайнем случае совпадать с ним.

4. Убежденность в правоте посылок может иметь не только мифологическое обоснование, которое характерно при использовании родительских знаний, но и некоторую чисто личностную природу, связанную с отрицательными эмоциями, порожденными этими послылками. Если, например, некоторый факт вызывает у человека отрицательные эмоции, то он «вытесняет» его из зоны активности и человек «не замечает» его существования. Поэтому и выводы, которые следуют из этого факта,

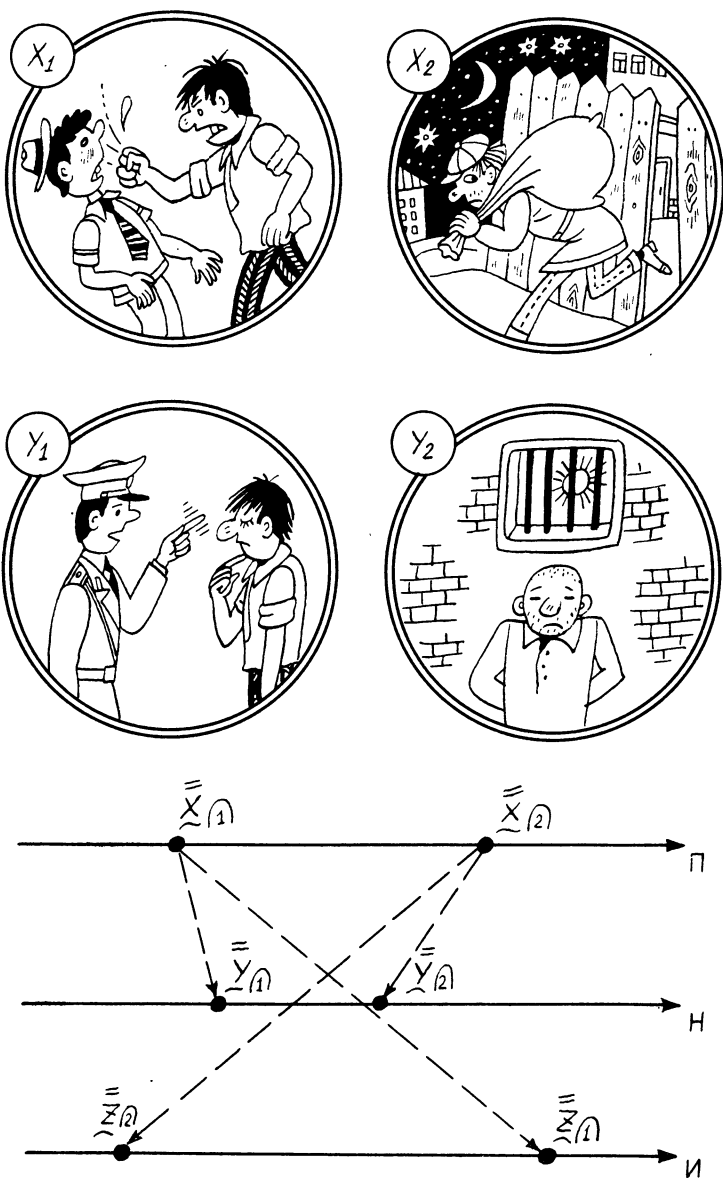


Рис. 7

субъектом не реализуются, а многие из тех выводов, которые невозможны при наличии неприятного факта, могут порождаться. Вывод может основываться на неверных посылках, которые имеются у субъекта. Например, Наполеон был твердо убежден

в том, что пароходы плавать по воде не могут. Он выводил этот факт из неверной посылки, что железо тяжелее воды и никакой железный предмет на поверхности воды держаться не может. Отказ от подобных заблуждений иногда приводит к переворотам в науке, как это случилось при отказе от идеи теплорода или при отказе от истинности пятого постулата в геометрии Эвклида.

Наконец, справедливость тех или иных умозаключений может определяться совокупностью морально-этических норм, принятых в данном обществе. Сентенции типа «Справедливость — благо людей» или «Какова бы не была цель, не всякие средства допустимы» характеризуют подобные рассуждения. Очень часто за этими рассуждениями стоят типовые сценарии поведения, принятые в данном социуме. Примеры: «Я на тебя обиделась. Ты даже не поцеловал меня при встрече» или «Он увидел, что рядом с ним стоит пожилая женщина с тяжелой сумкой в руках. Ему стало стыдно, он тут же встал и предложил женщине сесть».

5. Использование одновременного существования различных миров приводит к тому, что могут возникнуть рассуждения, в которых участвуют противоречивые факты. Сейчас речь идет не о том случае, когда эти факты «разведены» по непересекающимся мирам, а о том, когда они присутствуют одновременно, в одном мире. Упоминавшиеся уже бороро одновременно люди и птицы, а край леса одновременно граница царства мертвых и живых.

Но противоречивость рассуждений выступает не только в этой форме. Человек, например, в состоянии хранить в своей памяти и при случае опираться на них как на посылки совершенно противоположные по смыслу утверждения. Фольклор любого народа буквально заполнен такими противоречивыми сентенциями: «Работа — не волк, в лес не убежит» и «Всякий труд от бога» или «Делу время — потехе час» и «Солдат спит — служба идет» или «Ученье — свет, а не ученье — тьма». Можно привести и еще более шокирующие логиков-пуритан примеры, когда в одной фразе утверждается, что одновременно имеет место некоторый факт и его отсутствие. Вот фраза из стихотворения Юнны Мориц «Море»: «Оно слепое и зоркое», а вот фраза из весьма популярной песни: «Речка движется и не движется, вся из лунного серебра». И такими откровенно противоречивыми высказываниями человек оперирует с завидной легкостью, усматривая смысл там, где логики отказываются его видеть.

6. Всякое рассуждение основывается на двух началах: собственно схеме рассуждения и принципах выбора именно этой схемы. Вторая компонента рассуждения в искусственном интеллекте называется схемой управления рассуждением. О ней мы будем говорить в гл. 5. Сейчас заметим только, что когда мы го-

ворили об эмоциональном или религиозном рассуждениях, то в этих терминах отражалось наше представление об источнике, которым данное рассуждение управляется.

7. На последующих страницах книги мы столкнемся с немалым количеством других особенностей человеческих рассуждений: размытостью и неточностью посылок, своеобразными «рассуждениями по дереву», рефлексивными рассуждениями и многими иными видами человеческих способов утверждать то или иное. А начнем мы с удивительного открытия — силлогистики Аристотеля.

Глава вторая.

СИЛЛОГИСТИКА И ГЕРМЕНЕВТИКА РАССУЖДЕНИЙ

В то время как заурядный наблюдатель видит
Лишь ряд разрозненных, отдельных сцен
И бродит ощупью среди них всю жизнь,
Способны вы сводить их воедино.
Одною мерой мерите вы всё.

Г. Ибсен. Пер Гюнт

Что сделал Аристотель?

Развитие всех наук протекает в условиях возникновения множества новых идей, многие из которых оказываются ошибочными. Рождаются и умирают десятки, а то и сотни теорий, бывает, что новые данные опровергают ранее сложившиеся убеждения. Нередки случаи, когда на этих убеждениях покоилось стройное здание данной науки. Лишенное их, оно рассыпается, как карточный домик, а на его месте начинает возводиться новое здание. Так в драматических столкновениях, среди которых изредка вспыхивают гениальные открытия, кропотливым трудом десятков поколений исследователей создается и модернизируется здание той или иной науки.

Но из всего всеобщего процесса есть одно парадоксальное исключение. Существует теория, построенная одним человеком и практически сразу, которую никто не пытался критиковать или опровергать. Ее лишь уточняли и модернизировали. И хотя со времени ее создания прошло уже значительно больше двух тысяч лет, она по-прежнему занимает почетное место в науке.

В средние века автор этой теории пользовался такой популярностью, что его наверняка бы причислили к святым, если бы он не родился за четыреста лет до рождения основателя этой религии.

Это исключение — *силлогистика*, созданная гениальным мыслителем древности Аристотелем. На протяжении многих столетий силлогистика была единственной моделью *дедуктивных рассуждений*. В этом смысле она сыграла исключительную роль в становлении всех наук вообще, ибо стала для них методологией научного мышления.

Прежде, чем пояснить вновь появившиеся понятия, попробуем ответить на вопрос: какую задачу хотел решить Аристотель, создавая свою теорию? Он жил в те времена, когда научные споры были основным видом научной деятельности. «В споре рождается истина» — выражение, пришедшее к нам из эпохи этой седой древности. Только в дискуссиях и спорах можно было отстоять свою точку зрения и усвоить, что хочет сказать твой коллега. Со времен Сократа получили широкое распространение специальные виды спора — сократические беседы. В ходе такого спора доказательство выдвинутого положения защищалось с помощью ответов двух типов («согласен» или «не согласен») на любые высказывания оппонентов выдвинутого положения.

Искусство вести подобные беседы высоко ценилось. И, видимо, одной из первопричин исследований Аристотеля было стремление найти такие формы рассуждений, которые при правильном их использовании не нарушали бы истинности исходного положения. Истинность тут понималась не как некоторый абсолют. Идея была в другом. Как строить рассуждения, чтобы они лишь поддерживали исходное положение (в его истинности надо было убедить оппонентов), а не опровергали его? Помня о весьма популярном Сократе, Аристотель не мог не знать, что часто для показа силы своей логики этот мыслитель выдвигал заведомо ложное положение, но с помощью специально построенных *софистических рассуждений* убеждал слушателей в истинности выдвинутого ложного положения. Конечно, софистические рассуждения содержали скрытую ошибку, нарушали какие-то фундаментальные законы логики человеческих рассуждений. Но вскрыть их было невозможно, пока эта логика сама была не описана и не формализована.

Аристотель и его современники уже знали, что существует по крайней мере три типа рассуждений: от общего к частному, от частного к общему и от частного к частному. Идея первого типа рассуждений основывалась на том явном для людей положении, что если общее утверждение верно, то должно быть верными и частные утверждения, определяемые этим общим рассуждением. Именно такого типа рассуждения и называют *дедуктивными*.

Два других типа рассуждений с точки зрения истинности вы- вода куда менее ясны. Рассуждения от частного к общему отра- жают наш путь постижения окружающего мира и нас самих в нем. Общие утверждения возникают на пути обобщения частных, отражающих совокупность наших единичных опытных фактов. Такие рассуждения называются *индуктивными*. Истинность общего результата таких рассуждений для людей становится очевидной, если частных утверждений, подтверждающих этот результат, довольно много, а опровергающих утверждений нет. Еще более сложная ситуация складывается при переходе от од- них частных утверждений к другим частным, как-то связанным с исходными. Здесь человеческая интуиция в оценке истинности результата почти бессильна. Такие рассуждения, которые мы будем в этой книге называть *правдоподобными*, лежат где-то на границе между допустимыми и недопустимыми формами чело- веческих рассуждений.

Исходя из этих соображений (не по форме, конечно, а по существу) Аристотель выбрал для формализации именно дедук- тивные рассуждения. Хотя и в область индуктивных рассуждений Аристотель внес определенный вклад, но он, конечно, не может сравниться с тем, что удалось сделать этому философу в области дедуктивных рассуждений.

Еще раз зафиксируем два положения, связанные с работой Аристотеля в интересующей нас области: 1) исходные посылки рассуждения являются истинными; 2) правильно применяемые приёмы перехода от посылок к другим вытекающим из них ут- верждениям и из посылок и ранее полученных утверждений к новым вытекающим из них утверждениям должны сохранять истинность всех получаемых утверждений, т. е. истинные посыл- ки порождают только истинные следствия.

Именно это свойство силлогистики Аристотеля, как со време- нем стала называться созданная им система, позволила средне- вековому философу и богослову Фоме Аквинату использовать теорию Аристотеля для обоснования всей христианской теологии. Сделал это он с помощью следующего приема. Поскольку по учению христианской церкви определенная часть сочинений, составляющая книги Ветхого и Нового Заветов, является бого- вдохновенной, то все утверждения, содержащиеся в них, явля- ются абсолютно истинными. Их истинность не меняется. А зна- чит, они образуют посылочный базис логической системы, в которой невозможны противоречия. Из них можно с помощью силлогистики Аристотеля порождать новые утверждения, которые также будут истинны. И если многие из этих утверждений чело- веческий рассудок отказывается принимать, сомневается в их допу- стимости, то, следовательно, рассудок земного человека слаб и не дорос еще до истинных откровений. Ведь еще на заре рас- пространения христианского учения один из его апологетов Тер-

туллиан, обсуждая не поддающийся анализу с помощью рациональных рассуждений догмат о триничности божества, сказал: «Верую, потому что абсурдно!»

Это же свойство силлогистики использовалось и в дальнейшем. Например, в судебной практике, когда вывод о виновности или невиновности человека проистекал из принятия в качестве истинных посылок материалов предварительного следствия (в их истинность надо поверить абсолютно!), и применения к этим посылкам процедур порождения новых утверждений по правилам теории Аристотеля. Ясно, что подобное перенесение силлогистики и иных дедуктивных систем на различные сферы человеческой деятельности может принести вовсе не пользу, а вред.

Но сейчас нам пора переходить к изложению сути той теории, которую создал Аристотель.

Силлогистика Аристотеля

Краткий очерк силлогистики Аристотеля необходимо предварить несколькими замечаниями. То, как она будет здесь излагаться, это, конечно, не прямой перевод его сочинения. Многочисленные поколения логиков и философов вводили новые обозначения и понятия, связанные с тем, что предложил Аристотель. И сегодняшнее изложение силлогистики, будь сейчас жив Аристотель, наверное, показалось бы ему непривычным. Но суть его положений осталась неизменной. Из-за того, что изложение самого Аристотеля не полностью формализовано, возможны различные интерпретации положений его теории, истолкования смысла используемых в ней обозначений и понятий. Это приводит к тому, что, сохраняя верность основным положениям Аристотеля, можно построить несколько дедуктивных систем, имеющих различия в определенных деталях. Именно поэтому до последних лет продолжают активные исследования в области силлогистических систем и время от времени появляются системы силлогистики, являющиеся модификацией ранее известных.

Введем понятие *сущности*. Под сущностью будем понимать все то, о чем можно нечто утверждать. Под это понятие подходят объекты окружающего нас мира, явления его, протекающие в нем процессы, окружающие нас субъекты, включая нас самих. Вообще, все, о чем что-то можно говорить на естественном языке. Сущности могут образовывать *классы* — совокупности, объединенные с помощью общего имени. При этом отдельные сущности могут иметь уникальные собственные имена *. Для обозначения классов сущностей будем использовать традиционные буквы

* Учение об именовании (номинации) — одна из обширных и сложных областей логики. В этой книге мы используем термины, касающиеся имен, во многом опираясь на интуитивные представления.

S, *P* и *M*, а для обозначения конкретных сущностей — малые латинские буквы *a*, *b* и т. д.

Введем еще два *квантора*: *всякий* и *некоторый*. Первый из них, будучи поставлен рядом с именем класса, показывает, что в высказывании будет утверждаться нечто, что одновременно истинно для всех сущностей, входящих в этот класс. Если класс пуст; т. е. не содержит конкретных сущностей, то высказывание говорит о пустом классе. Например, «Всякий демон способен сжимать и растягивать время», если не верить в существование демонов, есть высказывание о пустом классе. Однако, несмотря на то, что класс демонов пуст, высказывание все-таки обладает определенным смыслом, понятным каждому человеку. Во всяком случае, человек всегда может себе представить воображаемый мир, в котором демоны не только существуют, но и являются важными действующими персонажами этого мира.

Чистая игра с именами несуществующих сущностей часто нравится людям, особенно детям. Вот прекрасный пример этого, взятый из книги Григория Остера «Как хорошо дарить подарки».

Пампукская хрюря

Как-то раз слоненок, удав и мартышка сидели и разговаривали. Вдруг прилетел попугай и спросил:

- Вы не знаете, что такое кукаляка?
- Нет. Не знаем, — ответил слоненок.
- Кукаляка, — важно сказал попугай, — это такой сундучок, в котором лежит мукука.
- А что такое мукука? — спросила мартышка.
- Мукука — это такая коробочка, в которой лежит бисяка, — ответил попугай.
- А бисяка что такое? — удивился удав.
- Бисяка — это ящичек, в котором лежит хрюря, — сказал попугай. Подумал и добавил: — Пампукская хрюря.
- Что это за пампукская хрюря? — возмутился удав. — Никаких пампукских хрюрей я никогда не видел.
- Пампукская хрюря — это такой пакетик, в котором лежит мамурик.
- Понятно, — сказал слоненок. — Мамурик — это, наверное, тоже какой-нибудь ящичек, в котором лежит еще что-то. Ну, а все-таки, что же там в самой середине этих ящиков, коробок и пакетов? Скажи, пожалуйста, попугай.
- А разве это важно? — ответил попугай и улетел.

Вторым квантором в силлогистике Аристотеля является квантор «некоторый». Если он поставлен рядом с именем некоторого класса сущностей, то это означает, что в высказывании будет нечто утверждаться относительно какого-то подкласса сущностей, входящих в данный класс. Этот подкласс может сливаться со всем классом или содержать единственную конкретную сущность из исходного класса. Важно только условие непустоты этого подкласса, если исходный класс не пуст. А если он пуст,

то подкласс образуют мыслимые конкретные сущности. В высказывании «Некоторые демоны слушали музыку внимательно» в воображаемом классе сущностей с именем «демоны» речь идет о некотором подклассе.

С помощью кванторов строятся шесть схем базовых высказываний, используемых в силлогистике.

1. Всякий S есть P .
2. Всякий S не есть P .
3. Некоторый S есть P .
4. Некоторый S не есть P .
5. S есть P .
6. S не есть P .

Отметим, что если S определяет сущности, о которых что-то утверждается в высказывании, то P определяет, что именно о них говорится. Кванторы выделяют тот подкласс сущностей, о которых идет речь. Поэтому иногда S называют субъектом высказывания, а P — предикатом высказывания. Мы эти термины в дальнейшем использовать не будем.

Если высказывания 1—4 относятся к некоторым утверждениям о принадлежности или непринадлежности множеств элементов некоторому классу элементов, обладающих свойством P , то высказывания 5 и 6 имеют несколько иную природу. Высказывание 5 утверждает, что класс S совпадает с классом элементов, обладающих свойством P , а высказывание 6 говорит о том, что эти классы не совпадают.

Для индивидуальных конкретных сущностей имеются две схемы базовых высказываний.

7. a есть P .
8. a не есть P .

В силлогистике Аристотеля двух последних высказываний не было. Мы их приводим для полноты картины.

В приведенных восьми схемах базовых высказываний имеется один элемент, который мы пока не объяснили. Он представлен связками «есть» и «не есть». К сожалению, в русском языке эти связки не имеют однозначного смыслового значения. Следующие примеры иллюстрируют это: «Треугольник есть многоугольник», «Фигура ABC есть прямоугольный треугольник», «Сумма квадратов катетов есть квадрат гипотенузы», «Причина есть». В этих четырех примерах связка «есть» используется в четырех различных смыслах. В первом предложении говорится о включении одного множества сущностей в другое. В теории множеств этот случай задается с помощью отношения $S \subseteq P$. Во втором случае «есть» трактуется как отношение принадлежности элемента множеству, т. е. как $a \in P$. В третьем высказывании вместо «есть» подразумевается знак равенства, а в последнем случае «есть» определяет лишь фиксацию наличия сущности «причина». Ясно, что при такой неоднознач-

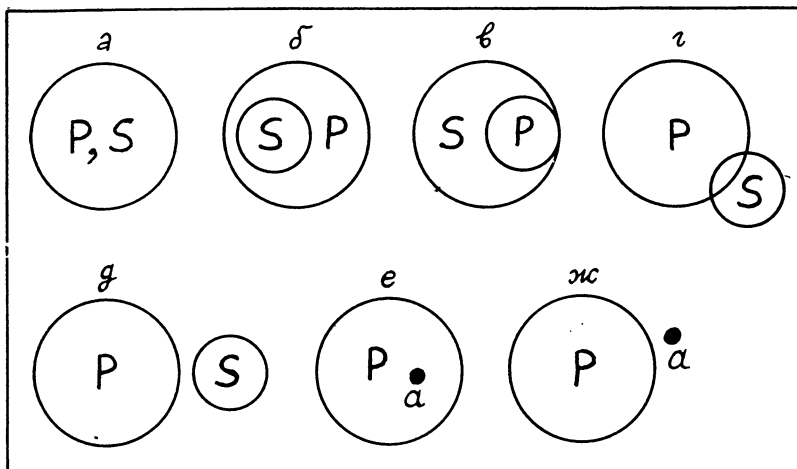


Рис. 8

ности невозможно построить строгую теорию. Поэтому, следуя Аристотелю, будем интерпретировать связки «есть» и «не есть», когда они соединяют два класса, как отношения включения или не включения множеств сущностей, образующих эти классы, а когда они соединяют в соответствии со схемами семь и восемь конкретную сущность и класс, как отношения принадлежности или непринадлежности элемента к множеству.

Тогда смысл базовых высказываний можно задать наглядно, с помощью так называемых *жергоновых отношений*, показанных на рис. 8.

В табл. 1 установлено соответствие между схемами базовых высказываний и случаями, приведенными на рис. 8.

Таблица 1

Номер схемы базового высказывания	Случаи, показанные на рис. 8	Номер схемы базового высказывания	Случаи, показанные на рис. 8
1	а, б	5	а, б, в, г
2	д	6	в, г, д
3	а, б, в, г	7	е
4	в, г, д	8	ж

Приведенная интерпретация смысла базовых высказываний позволяет выполнять две процедуры: по высказыванию определять, какие взаимоотношения между сущностями классов S и P реализуются, и по знаниям о том, какие взаимоотношения между сущностями этих классов имеют место, определять соответствующие высказывания с уверенностью, что они являются истинными. Легко заметить, что при зафиксированной в таблице

интерпретации базовых высказываний схемы 3 и 4 аналогичны схемам 5 и 6, эти высказывания с точки зрения истинности не различаются. В других интерпретациях силлогистики они могут принимать значения «истина» и «ложь» на различных областях жероновых отношений.

Задача определения истинности высказывания связана с необходимостью иметь специальные процедуры, которые могли бы проверять взаимосвязь классов S и P , а также вхождение конкретной сущности a в класс P . В силлогистике существование таких эффективно работающих процедур постулируется.

Приведем ряд примеров высказываний с одновременным указанием областей, в которых эти высказывания интерпретируются как истинные. Области для разбираемых примеров показаны на рис. 9. Номера этих областей, если это специально не оговорено, соответствуют номерам примеров. Связки в ряде случаев опускаются, но их восстановление тривиально.

1. Всякий огородный овощ съедобен (S — класс огородных овощей, P — класс съедобных сущностей).

2. Всякий автомобиль не есть трамвай (S — класс автомобилей, P — класс трамваев).

3. Некоторые люди могут прыгнуть в высоту на два метра (S — класс людей, P — класс живых существ, которые способны прыгнуть в высоту на два метра и более).

4. Некоторые деревья сбрасывают на зиму свою листву (S — класс деревьев, P — класс всех вечнозеленых растений, включающий в себя и те деревья, которые остаются зимой зелеными).

5. Отец и мать есть родители (S — класс, состоящий из двух элементов «отец» и «мать», P — класс с именем «родители», в высказывании содержится утверждение о совпадении по объему этих двух классов).

6. Приматы не есть все обезьяны (S — класс приматов, P — класс всех обезьян, среди которых и все приматы, т. е. высказывание соответствует случаю 1 на рис. 9). Другой пример этого же типа: люди высокого роста не только те, чей рост выше двух метров (S — класс высоких людей, P — класс тех существ, чей рост выше двух метров, данному высказыванию соответствует случай 6 на рис. 9).

7. Иванов — сотрудник нашей лаборатории (a — единичный объект Иванов, P — списочный состав «нашей лаборатории», той конкретной лаборатории, о которой говорится в данном высказывании).

8. Петров — не член клуба филателистов Москвы (a — единичный объект, P — список членов клуба филателистов Москвы на тот момент времени, когда актуализируется это высказывание).

Любой вывод, представимый в силлогистической теории Аристотеля, может иметь или не иметь посылок. По числу исполь-

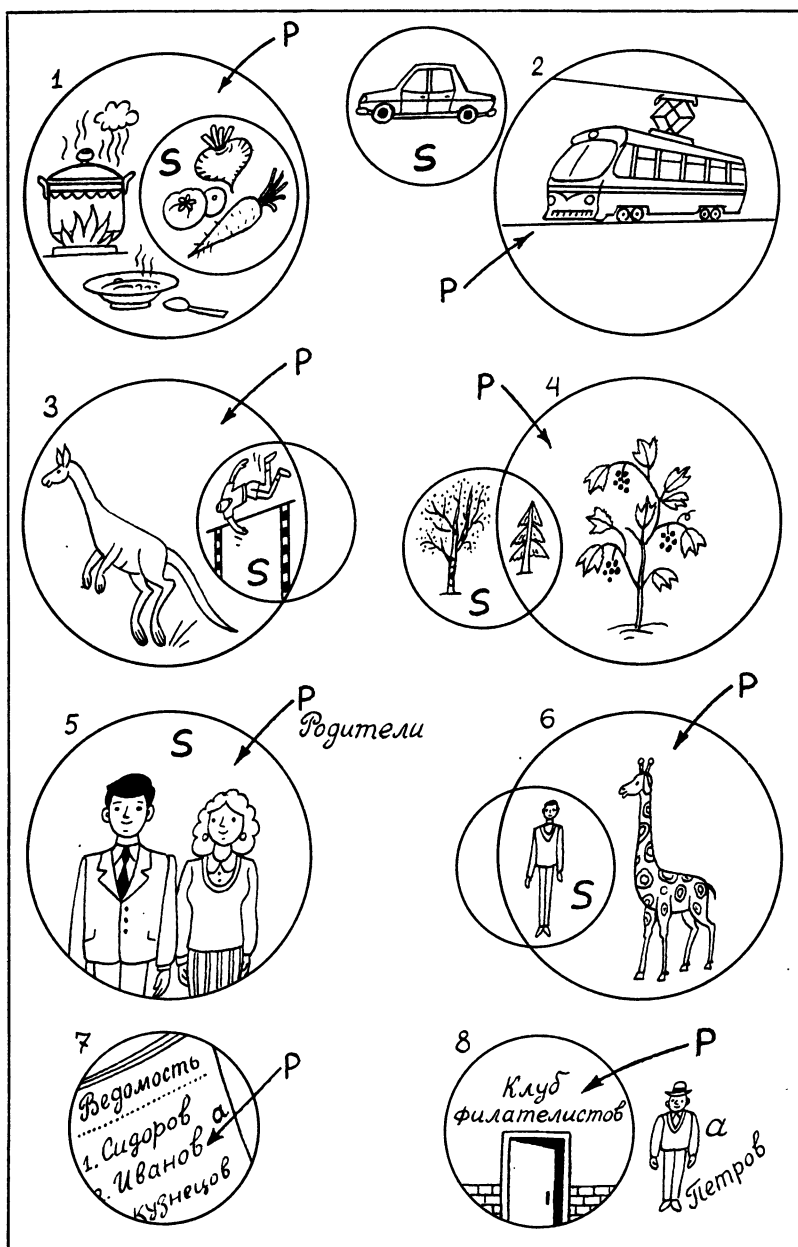


Рис. 9

зуемых посылок можно различать выводы ранга 0, 1, 2 и т. д. Утверждения, для которых посылки не нужны, называются *законами силлогистики*. Таких законов в силлогистике Аристотеля три: *закон тождества*, *закон противоречия* и *закон исключенного третьего*. Прежде чем перейти к их формулировкам, введем обозначения, восходящие к Петру Испанскому, жившему в XIII веке и написавшему широко распространенное в Средние века сочинение, в котором излагалась логика Аристотеля с теми добавлениями, которые к этому времени возникли. Эти обозначения следующие:

- A — Всякий + есть +.
- E — Всякий + не есть +.
- I — Некоторый + есть +.
- O — Некоторый + не есть +.

В этих записях знак плюс означает свободное место, на которое можно поставить имя класса сущности. В первой позиции этот класс играет роль класса S , а во второй — P . Условимся для удобства записи конкретные классы обозначать малыми буквами s и p .

Введем еще один символ, называемый *знаком выводимости* и обозначаемый \vdash . Запись $F \vdash Q$ означает, что если относительно всех посылок, входящих в совокупность F , известно, что они выводимы, то заключение Q также выводимо. Если имеется запись $\vdash Q$, то считается, что заключение Q выводимо всегда и не зависит от выводимости каких-либо других утверждений. Другими словами, в последнем случае мы имеем дело с выводами нулевого ранга, т. е. с законами силлогистики.

Первым среди этих законов является закон тождества, который формулируется следующим образом: всякий s есть s или в принятых обозначениях $\vdash Ass$. Каков его смысл? Поскольку в позиции P здесь стоит то же самое s , что и в позиции S , то смысл закона состоит в утверждении, что всякая конкретная сущность, входящая в класс s , обладает всеми свойствами элементов этого класса. На первый взгляд может показаться, что утверждение Ass практически не содержит информации. Но это, как ни удивительно, не так. В человеческом общении утверждения типа Ass встречаются нередко. И, более того, несут определенную эмоциональную окраску. «Осень есть осень», — говорим мы. «Да. Ненастье есть ненастье», — отвечает наш собеседник. Вполне содержательный разговор. Мы просто напоминаем друг другу, что такое осень, не перечисляя всех тех характеристик, которые связаны с индивидуальными сущностями (конкретными периодами осени в данной местности), подпадающими под общее наименование «осень» или «ненастье». А вот отрывок из романа Б. Окуджавы «Свидание с Бонапартом»: «Так ведь

скотный двор — он и есть скотный двор, — наставлял я блудного сына, — или в Голландии скотных дворов не бывает? »

Для формулировки следующих законов введем две логические связки, *конъюнкцию*, которую будем обозначать $\&$, и *дизъюнкцию*, которую будем обозначать \vee . Смысл их состоит в том, что истинность сложных утверждений $F_1 \& F_2$ и $F_1 \vee F_2$ определяется по следующим жестким правилам: $F_1 \& F_2$ истинно лишь в случае, когда истинны утверждения F_1 и F_2 , в остальных случаях конъюнктивное утверждение является ложным; $F_1 \vee F_2$ ложно только тогда, когда ложны одновременно оба утверждения F_1 и F_2 , а в остальных случаях дизъюнктивное утверждение является истинным. Введем, наконец, обозначение \neg , которое будем интерпретировать в записи $\neg F$ как утверждение о том, что неверно, что F является истинным.

Закон противоречия записывается следующим образом:

$$\vdash \neg (Asp \& Esp).$$

Он говорит, что невозможна ситуация, когда конкретные сущности из класса s одновременно входят в p и не входят в него. Этот закон кажется очевидным. Но в первой главе мы уже приводили примеры человеческих утверждений, которые по форме выглядели как $Asp \& Esp$. Напомним одно из них: «Речка движется и не движется, вся из лунного серебра». Что здесь говорится? Некоторая конкретная сущность из класса сущностей с именем «речка» одновременно принадлежит и не принадлежит к классу сущностей с именем «движущиеся объекты». И тем не менее, несмотря на явное противоречие, мы не считаем утверждение о речке абсурдным, а вкладываем в него определенный смысл. Например, такой: «Блики луны падают на поверхность воды, ветерок создает рябь, и нельзя сказать, движется вода в речке или замерла неподвижно».

Еще большую критику может вызвать закон исключенного третьего, обычно записываемый следующим образом:

$$\vdash (Isp \vee Osp).$$

Он говорит о том, что для каждой конкретной сущности a , входящей в s , истинно одно из двух утверждений: « a входит в p » или « a не входит в p ». Совместно эти два утверждения не могут быть истинными, что следует из закона противоречия. Этот закон в процессе развития логики подвергается постоянной критике, ибо вся человеческая практика пронизана примерами его невыполнения. Об этом мы будем говорить в последующих главах книги. Заметим лишь, что в результате отказа от истинности закона исключенного третьего была построена конструктивная логика, в которой не встречаются парадоксы, связанные с принятием в качестве исходного закона дедуктивной теории закона исключенного третьего.

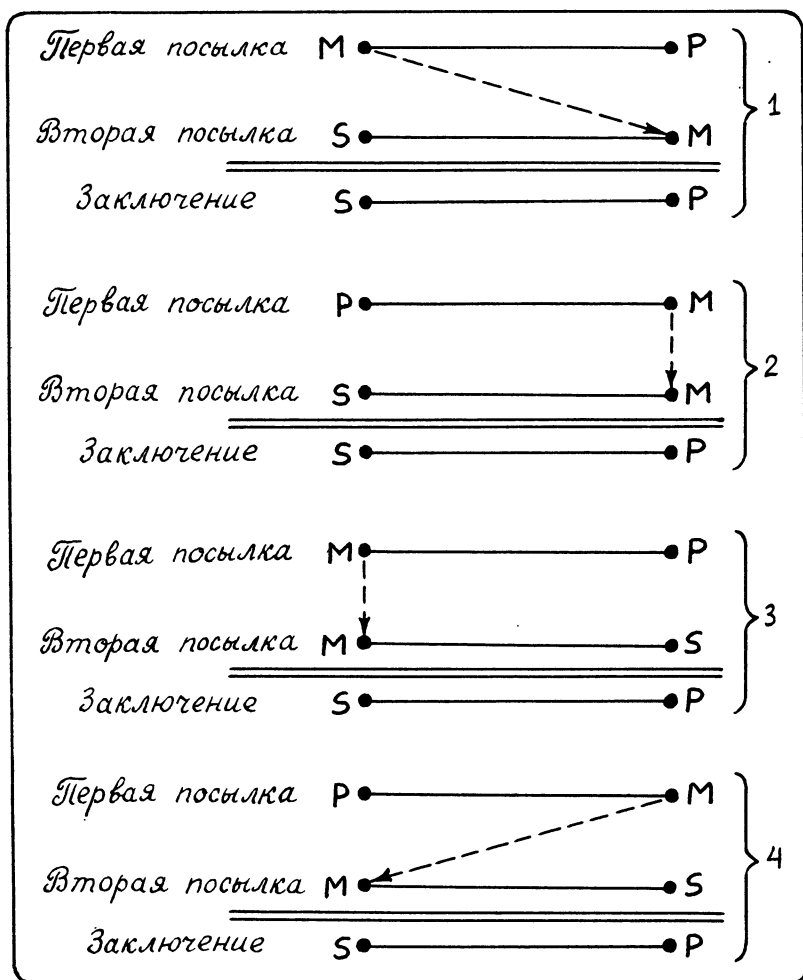


Рис. 10

Геометрические соотношения, легко усматриваемые из рис. 8, позволяют написать несколько выводов первого ранга, т. е. с одной посылкой, истинность которой является достаточным условием для истинности заключения. Вот примеры таких выводов. Их справедливость непосредственно следует из рис. 8 и табл. 1, задающей условия истинности для схем базовых высказываний:

$$Asp \vdash \neg Osp; Esp \vdash Eps; Asp \vdash Ips;$$

$$Esp \vdash \neg lsp; lsp \vdash lps; Esp \vdash ops.$$

Теперь можно перейти к объектам, называемым силлогизмами. Силлогизмы у Аристотеля — это выводы ранга 2, т. е. выводы, которые можно сделать на основании истинности двух посылок. В этих двух посылках фигурируют три класса сущностей S , P и M . Иногда, следуя многовековой традиции, их называют меньший, больший и средний термин. Каждая из посылок и заключение представляют собой базовые высказывания силлогистики.

В соответствии с тем, как используются S , P и M в высказываниях, в силлогистике выделяют четыре фигуры. Схематически эти фигуры показаны на рис. 10. Номера около схем соответствуют номерам фигур в силлогистике. Каков смысл этих схем? Возьмем первую фигуру. Для того чтобы породить с ее помощью конкретные типы силлогизма (в силлогистике они называются *модусами*), надо выбрать из четырех символов A , E , I , O по одному для первой и второй посылок и для заключения. Нетрудно подсчитать, что количество комбинаций расстановки четырех символов по трем позициям равно $4^3 = 64$. При четырех фигурах это дает 256 различных модусов. Проиллюстрируем несколько возможных модусов для первой фигуры.

Рассмотрим комбинацию AAA . Ей соответствует следующий модус силлогизма:

Всякий M есть P

Всякий S есть M

Всякий S есть P

Попробуем проверить, является ли этот силлогизм правильным. Другими словами, если его посылки истинные, то всегда ли будет истинным заключение. Эту проверку проведем, используя жергоновы отношения и табл. 1. Первая посылка, как это следует из таблицы, дает две возможности соотношений M и P . Эти возможности показаны на верхнем ярусе рис. 11. Поскольку вторая посылка также истинна, то на нижнем уровне рис. 11 показаны области, в которых одновременно выполняются требования к истинности обеих посылок. Таких возможных областей три, как это видно из рисунка. Для всех трех областей между S и P имеются жергоновы отношения такого типа, который обеспечивает истинность заключения силлогизма. Это значит, что при истинности его посылок результат вывода, т. е. переход к заключению, всегда возможен и заключение будет истинным.

В качестве другого примера рассмотрим модус первой фигуры EIO .

Всякий M не есть P

Некоторые S есть M

Некоторые S не есть P

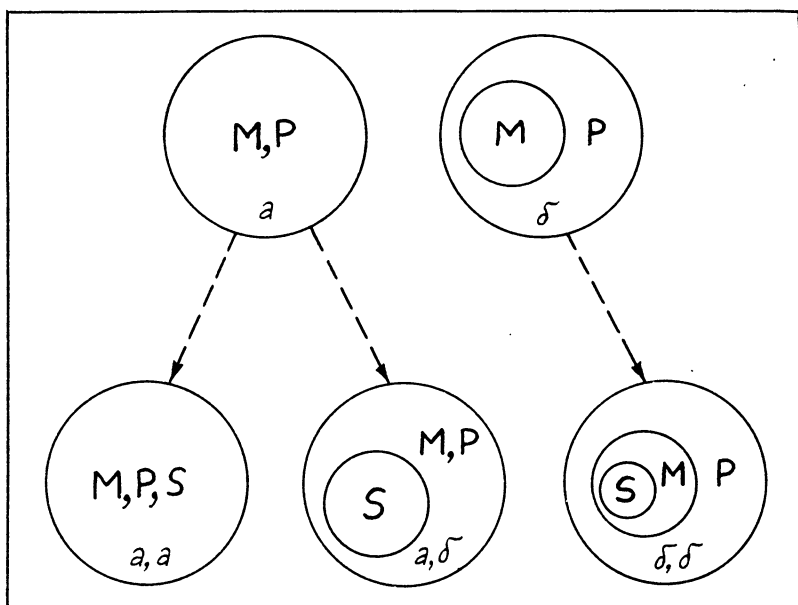


Рис. 11

Для первой посылки имеется одна возможная область истинности, показанная на верхнем ярусе рис. 12. При добавлении второй посылки с учетом требований к ее истинности можно получить четыре варианта, показанные на рис. 12 ниже. Все четыре полученные области являются областями истинности для базового высказывания, соответствующего заключению в этом силлогизме. Следовательно, истинность его посылок всегда обеспечивает истинность заключения.

Рассмотрим, наконец, еще один пример модуса первой фигуры. Возьмем модус *AEE*.

$$\begin{array}{l}
 \text{Всякий } M \text{ есть } P \\
 \text{Всякий } S \text{ не есть } M \\
 \hline
 \text{Всякий } S \text{ не есть } P
 \end{array}$$

Соответствующая графическая интерпретация дана на рис. 13. Для первой посылки возможны две области истинности в жергоновых отношениях. Добавление второй посылки, показанное на нижнем ярусе рис. 13, при первой возможности для первой посылки однозначно, а для второй возможности приводит к трем различным взаимным расположениям трех классов сущностей. Возникшая картина такова, что два средних случая на нижнем ярусе приводят к ложности заключения. Следовательно, силлогизм *AEE* не является правильным. Из истинности его по-

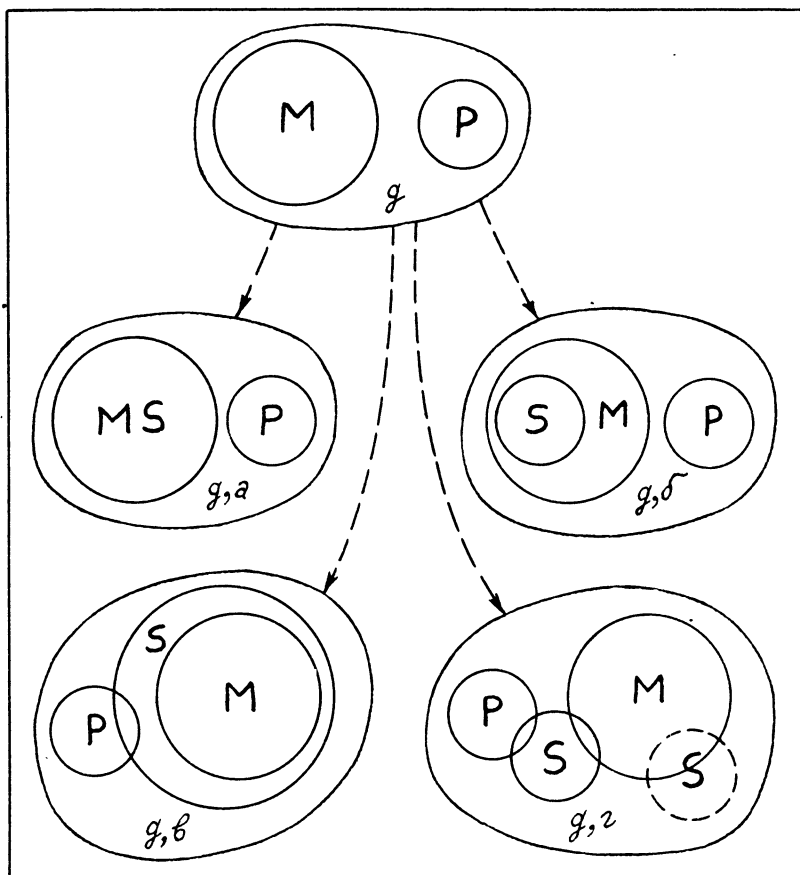


Рис. 12

сылки не всегда следует истинность его заключения. Вот пример такого ошибочного заключения:

Всякий железный брусок тонет в воде
 Всякий кирпич не есть железный брусок

 Всякий кирпич не тонет в воде

Итак, имеются силлогизмы, которые всегда обеспечивают правильный вывод, т. е. переход к истинному заключению при истинности двух посылок, и силлогизмы неправильные, не обеспечивающие такого вывода. Закономерен вопрос: сколько силлогизмов из 256 возможных являются правильными? Ответ на него и есть ядро силлогистики. Перебирая все возможные модусы, можно обнаружить, что только 24 модуса являются пра-

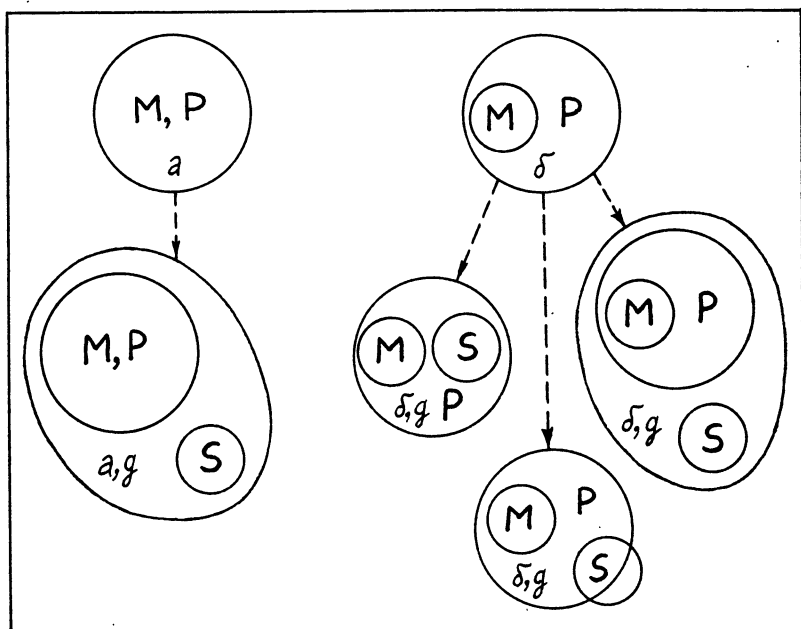


Рис. 13

вильными, а все остальные могут привести к ошибочному выводу.

На этом можно было бы поставить точку. Правильные модусы образуют ядро теории дедуктивного вывода, в которой от правильных посылок всегда гарантируется переход к правильному заключению. Но, как стало ясно в последующих столетиях, Аристотель создал такое ядро дедуктивной теории, которое позволяло расширять его, сохраняя все основные положения исходной теории.

Расширения силлогистики Аристотеля

Обсудим в этом разделе два таких расширения, в третьей главе опишем мощную дедуктивную систему, в которой учтены все возможности различных расширений силлогистики.

Первое расширение связано с переходом от силлогистики Аристотеля, оперирующей лишь с позитивными утверждениями, связанными с классами сущностей, к негативным утверждениям относительно них. Пусть мы имеем некоторый класс сущностей W (например, класс с именем «трамвай»). Рассмотрим класс сущностей с именем «не- W » (для нашего конкретного примера класс с именем «не-трамвай»). Какие сущности в него входят? Ясно, что все те, которые не принадлежат классу W , т. е. в нашем примере трамваями не являются. Как можно

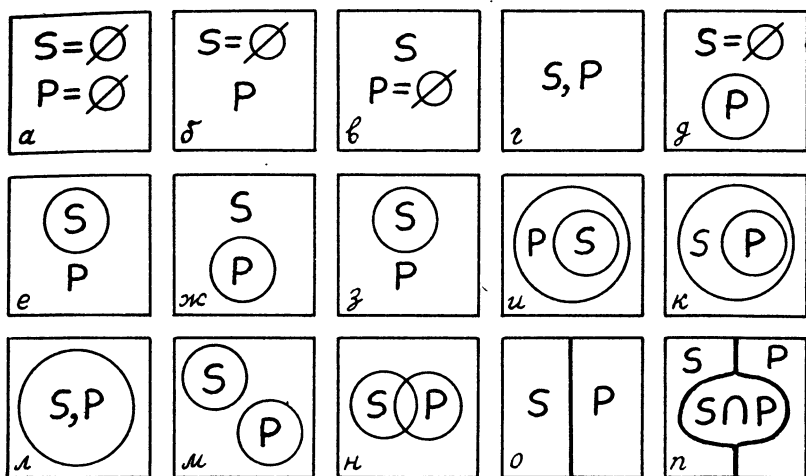


Рис. 14

изобразить такой класс сущностей графически, используя жергоновы отношения? Такая попытка будет безрезультатной. Если класс W задается некоторым кружком, как на рис. 8, то класс не- W никаким кружком не задашь. Он представляет собой весь *универсум* возможных сущностей, из которых исключены лишь сущности, входящие в W : «все остальное, что не входит в W ». Но как графически изобразить этот универсум или универсум с вырезанной зоной, относящейся к W ?

На рис. 14 показаны 15 областей, в число которых входят и области, приведенные на рис. 8. На этом рисунке квадрат символизирует весь универсум сущностей. Он как бы ограничивает мир возможных сущностей, задает ту часть необозримого множества сущностей, которая исследуется в данном силлогизме. Знак \emptyset указывает на то, что соответствующий класс сущностей пуст. Имя класса, не заключенное в кружок и не приравненное пустоте, означает, что сущности из этого класса составляют весь универсум. В случае $о$ классы S и P не пересекаются, а в случае $п$ они имеют непустое пересечение, показанное на рисунке.

Для задания негативных высказываний используем специальное обозначение. Если W есть некоторый класс сущностей, то все сущности, не принадлежащие классу W , образуют класс \bar{W} . Такое нововведение позволяет наряду с четырьмя схемами базовых высказываний позитивной силлогистики (Asp , Esp , Isp и Osp) рассматривать еще ряд схем, составляющих негативную силлогистику: $A\bar{s}p$, $As\bar{p}$, $A\bar{s}\bar{p}$, $E\bar{s}p$, $Es\bar{p}$, $E\bar{s}\bar{p}$, $I\bar{s}p$, $Is\bar{p}$, $I\bar{s}\bar{p}$, $O\bar{s}p$, $Os\bar{p}$, $O\bar{s}\bar{p}$. Между этими 16 схемами базовых высказываний расширенной силлогистики и областями, показанными на рис. 14,

надо установить такие же соотношения для интерпретации истинности, которые были установлены между четырьмя схемами базовых высказываний позитивной силлогистики и жергоновыми отношениями на рис. 8. Заинтересованные читатели могут сами получить удовольствие от этой работы.

Даст ли введение «отрицательных классов» сущностей что-либо новое по сравнению с традиционной силлогистикой Аристотеля? Существует ли метод сведения этой расширенной силлогистики к первоначальной? Ответ на эти вопросы является положительным. Для такого сведения могут использоваться следующие соотношения: $As\bar{p} \vdash Esp$, $Es\bar{p} \vdash Asp$, $Is\bar{p} \vdash Osp$ и $Os\bar{p} \vdash Ips$. Поскольку знак отрицания может стоять не только над классом P , но и над классом S , то для использования приведенных соотношений предварительно может потребоваться привлечение правил обращения традиционной силлогистики: $Asp \vdash Ips$, $Esp \vdash Eps$, $Isp \vdash Ips$ и $Osp \vdash Esp$. Если мы принимаем эти правила, то обеспечивается нужное сведение. В этих условиях можно пользоваться силлогистикой Аристотеля, а расширение оказывается чисто внешним. А если не принимаем, то это уже другая система рассуждений, в корне отличная от силлогистики Аристотеля, для которой этот закон один из трех китов, лежащих в основе теории.

В последующих главах мы вернемся к случаю отказа от закона исключенного третьего. Если он считается верным, то никакого фактического расширения силлогистики не происходит при уточнении области определения высказываний так, как это показано на рис. 14. Однако возможность введения «отрицательных классов сущностей» облегчает формальные преобразования в силлогистике, делает их более однородными по используемым операциям. С помощью новых типов классов можно сформулировать, например, закон двойного отрицания: $\bar{\bar{W}} = W$. Многие соотношения выписываются весьма прозрачно, например: $Asp \vdash A\bar{p}\bar{s}$ или $O\bar{p}\bar{s} \vdash Osp$. Наконец, введение знака отрицания над именами классов сущностей приближает записи в силлогистике к привычным записям в таких современных дедуктивных системах, как исчисление высказываний или исчисление предикатов, о которых речь пойдет в следующей главе.

Необходимо подчеркнуть, что переход от жергоновых областей к областям, показанным на рис. 14, при сохранении «отрицательных классов сущностей» является принципиальным. Это можно подтвердить тем фактом, что на всех жергоновых областях такие высказывания, как $A\bar{s}p$ или $E\bar{s}p$, принимают значение ложь, а на самом деле они не являются тождественно ложными. Например, $A\bar{s}p$ является истинным в области 3 на рис. 14.

Другое расширение силлогистики связано с увеличением числа посылок, из которых следует заключение. Если в силлогизме таких посылок две, то в конструкциях, называемых *соритами*,

их больше двух. Для получения заключения в сорите нужен многоступенчатый процесс, а для проверки истинности заключения не два шага (как на рис. 11—13), а столько шагов, сколько посылок имеется в сорите.

На каждом шаге при поиске заключения в сорите выбирается пара посылок, которые могут образовать одну из четырех силлогистических фигур (верхних частей схем на рис. 10). Если такая пара найдена, то она порождает по законам силлогистики заключение. Если к этому моменту еще не все множество исходных посылок использовано, то использованные на данном шаге посылки вычеркиваются из списка посылок, а вместо них добавляется найденное промежуточное заключение. Новое множество посылок рассматривается как исходное для следующего шага вывода.

Рассмотрим два примера получения заключения в соритах. Первый сорит содержит три посылки:

Малые дети неразумны.

Тот, кто может укрощать крокодилов, заслуживает уважения.

Неразумные люди не заслуживают уважения.

Чтобы начать процесс вывода, необходимо сначала привести все посылки к *нормальной форме*, принятой в схемах базовых высказываний в силлогистике. После этого преобразования посылки сорита примут вид:

Всякие малые дети есть неразумные люди.

Всякий, укрощающий крокодилов, есть заслуживающий уважения.

Всякие неразумные люди не есть заслуживающие уважения.

Возьмем первую и третью посылки. Если обозначить через P класс сущностей с именем «малые дети», через M — с именем «неразумные люди», а через S — с именем «заслуживающие уважения», то получим схему взаимного расположения P , M и S , которая соответствует схеме четвертой фигуры на рис. 10.

На рис. 15 в верхнем ярусе показаны два возможных варианта областей истинности для первой посылки. Вторая посылка такова, что ее добавление к каждой из областей первой посылки дает только одну альтернативу. Обе области, показанные в нижнем ярусе, есть области типа g (рис. 8). Это означает, что в качестве заключительного высказывания силлогизма может выступать лишь высказывание типа E . Само заключение при этом имеет вид «Всякие, заслуживающие уважения, не есть малые дети». После этого промежуточного вывода мы имеем две посылки:

Всякие, заслуживающие уважения, не есть малые дети.

Всякий, укрощающий крокодилов, есть заслуживающий уважения.

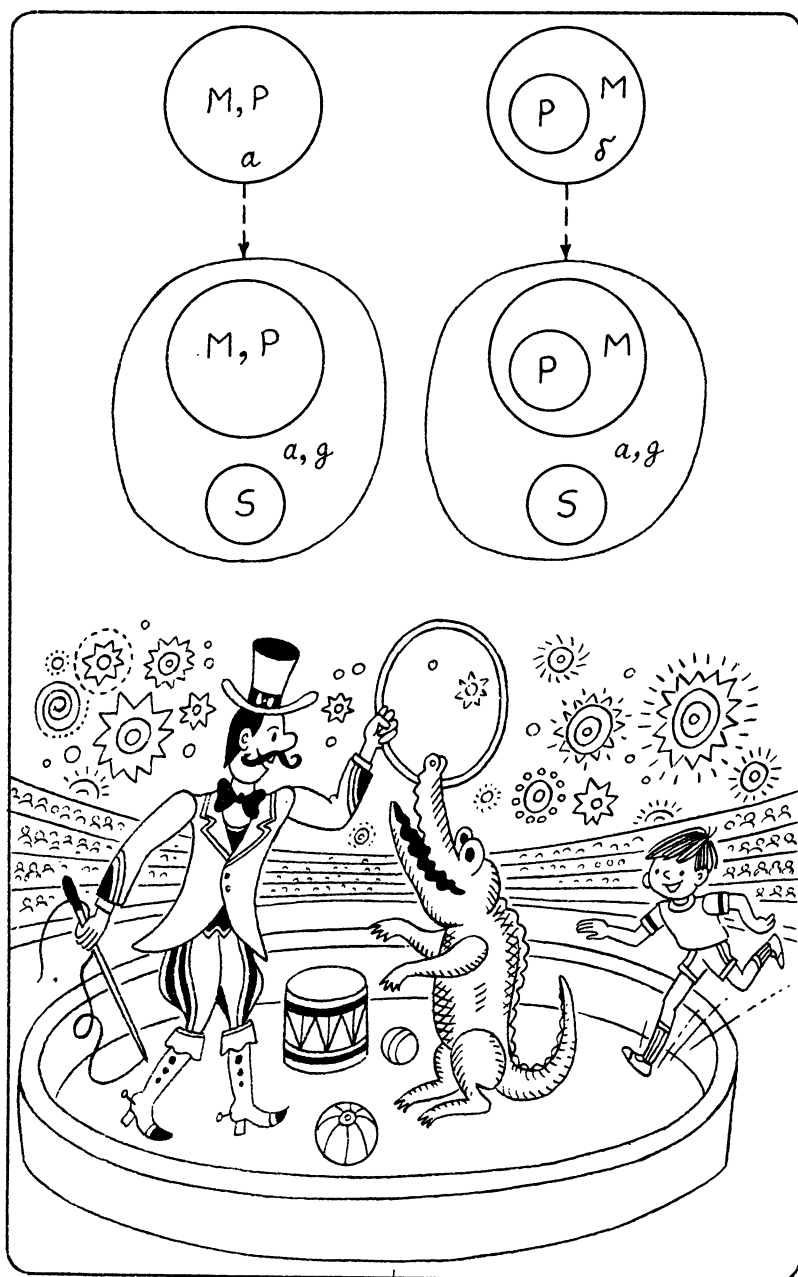


Рис. 15

Если теперь M — класс с именем «заслуживающие уважения» (надо помнить, что M — единственный класс, имя которого встречается в обеих посылках), то P соответствует классу «малые дети», а S — классу «укрошающий крокодилов». Такое введение классов сущностей приводит нас к первой фигуре силлогистики Аристотеля (рис. 10). Для получения вывода можно воспользоваться тем, что показано на рис. 16. В верхнем ярусе возможна только одна область истинности, а добавление к первой посылке второй приводит к появлению двух вариантов. Эти два варианта дают область истинности, соответствующую схеме базового высказывания E . Таким образом, окончательное заключение разбираемого нами сорита выглядит следующим образом: «Всякий, укрошающий крокодилов, не есть малые дети».

При получении заключений мы из соображений наглядности каждый раз обращались к графической интерпретации областей истинности. На самом деле для 24 правильных модусов силлогистики Аристотеля (поскольку схемы посылок однозначно определяют схему заключения в каждой из четырех фигур) эти заключительные схемы могут при необходимости выдаваться автоматически. Например, для первой фигуры если посылки имеют тип AA , то заключение имеет тип A , а если посылки имеют тип EI , то заключение имеет тип O . Значит, при определении высказывания, стоящего в заключении, нет никакой необходимости строить области истинности высказываний-посылок. Переход к заключению может происходить чисто механически. Надо только определить по виду выбранных посылок номер фигуры, а затем обратиться к таблице правильных силлогизмов, в которой находится ответ по номеру фигуры и типам посылок. Вот эта таблица:

Первая фигура: $AAA, EAE, EIO, AII, AAI, EAO$.

Вторая фигура: $EAE, AEE, EIO, AOO, EAO, AEO$.

Третья фигура: $AAI, IAI, AII, EAO, OAO, EIO$.

Четвертая фигура: $AAI, AEE, IAI, EAO, EIO, AEO$.

Проиллюстрируем процесс такого механического перехода на примере следующего сорита:

1. Те, кто нарушает свои обещания, не заслуживают доверия.

2. Любители выпить очень общительны.

3. Человек, выполняющий свои обещания, честен.

4. Ни один трезвенник не ростовщик.

5. Тому, кто очень общителен, всегда можно верить.

Если читатели попробуют «с ходу» сказать, какое заключение следует из этих посылок, то они тут же поймут, что сделать это практически невозможно. Поэтому будем двигаться постепенно, выполняя все необходимые в силлогистике шаги. Постепенность весьма важна, ибо она позволит впоследствии

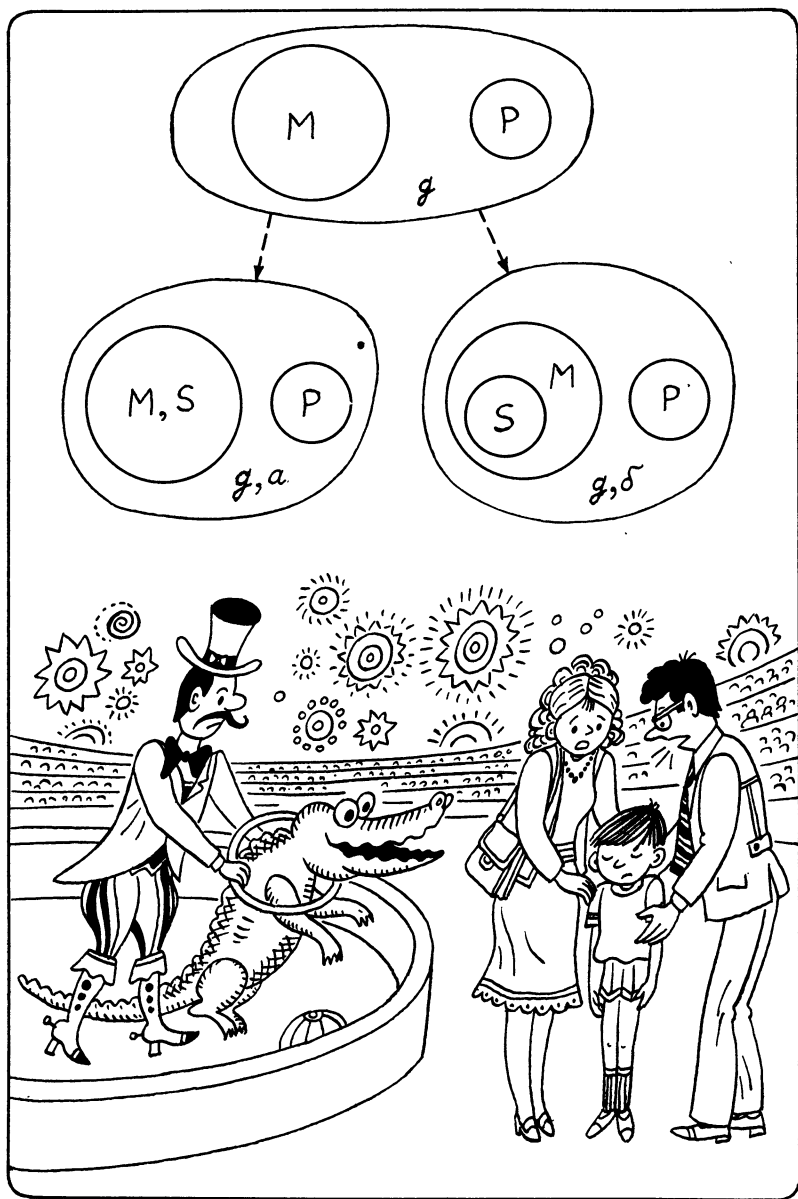


Рис. 16

сделать из анализа этого процесса важные выводы для автоматизации вывода рассуждений. Прежде всего преобразуем все посылки сорита в нормальную форму.

1. Всякий, кто нарушает свои обещания, есть не заслуживающий доверия.

2. Всякий любитель выпить есть человек очень общительный.

3. Всякий, кто выполняет свои обещания, есть человек честный.

4. Всякий трезвенник не есть ростовщик.

5. Всякий общительный человек есть человек, заслуживающий доверия.

Обратим внимание на то, что переход к нормальной форме для посылок требует прежде всего уточнения того, что за универсум объединяет все имеющиеся посылки. Каков он для нашего сорита? О каких сущностях идет в посылках речь? По-видимому, общей сущностью для всех, о ком говорится в посылках сорита, является сущность с именем «люди», как это было и в предшествующем сорите. Заметим, что если мы не хотим оперировать с «отрицательными классами» сущностей, то надо провести дальнейшую нормализацию посылок, ибо в силлогистике Аристотеля должно неукоснительно выполняться правило, согласно которому при n посылках должен быть выделен в точности $n+1$ класс сущностей (в силлогизме соответственно три класса S , M и P). Посчитаем, сколько классов получилось в примере после перехода к нормальной форме представления: W_1 — «нарушающие свои обещания», W_2 — «не заслуживающие доверия», W_3 — «любители выпить», W_4 — «очень общительные люди», W_5 — «те, кто выполняют свои обещания», W_6 — «честные люди», W_7 — «трезвенники», W_8 — «ростовщики», W_9 — «заслуживающие доверия».

Итак, девять классов сущностей вместо полагающихся шести. Какие из классов можно исключить из рассмотрения? Анализируя семантику имен классов, можно прийти к тому, что имеют место соотношения: $W_5 = W_1$, $W_7 = W_3$ и $W_9 = W_2$. Из этих утверждений некоторое сомнение вызывает лишь соотношение $W_7 = W_3$, так как класс тех, кто любит выпить, не есть чистое отрицание для класса тех, кто вообще не пьет. Более точно было бы вместо «трезвенники» говорить о людях, которые образуют класс с именем «не любители выпить». Но согласимся с тем, что есть. Из анализа полученной системы посылок видно, что надо либо оперировать с силлогистикой, в которой имеются «положительные» и «отрицательные» классы сущностей, либо провести необходимые преобразования, о которых мы говорили раньше, чтобы перейти к случаю традиционной силлогистики Аристотеля. Выберем второй путь.

Сохраним все высказывания, в которые не входят классы W_2 , W_5 и W_7 , а высказывания, в которые они входят, подвергнем преобразованию. Тогда получим следующую систему высказываний, в которой классы сущностей обозначены соответствующими W_i , а около тех высказываний, которые подверглись пре-

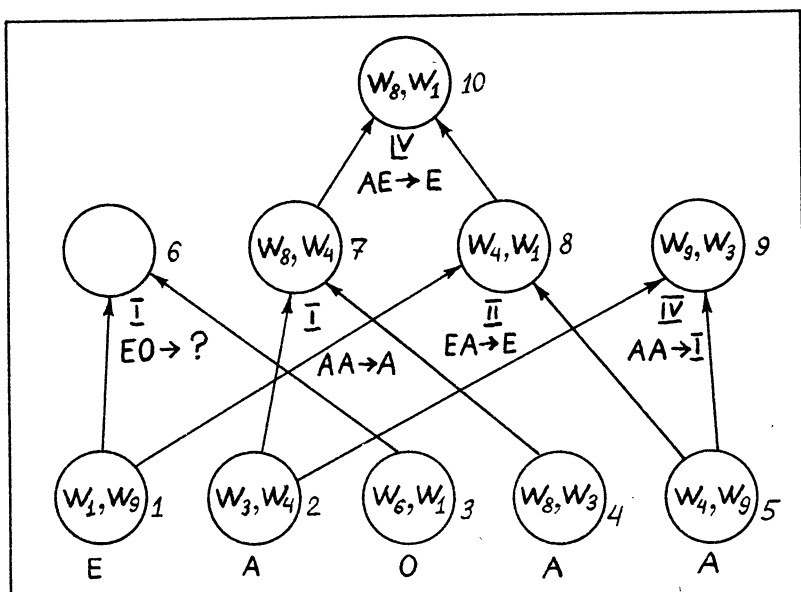


Рис. 17

образованию, написана выполненная цепочка преобразований:

1. Всякий W_1 не есть W_9 . Использовано: $As\bar{p} \vdash Esp$.
2. Всякий W_3 есть W_4 .
3. Некоторые W_6 не есть W_2 . Использовано: $A\bar{s}p \vdash Ip\bar{s}$; $Ip\bar{s} \vdash Ops$.
4. Все W_8 есть W_3 . Использовано: $E\bar{s}p \vdash Ep\bar{s}$; $Ep\bar{s} \vdash Aps$.
5. Все W_4 есть W_9 .

Будем строить полное заключение, перебирая все варианты возможных попарных сочетаний посылок, которые могут образовать какую-нибудь фигуру силлогизма. Этот процесс показан на рис. 17. В нижнем ярусе пять кружков соответствуют пяти имеющимся посылкам. Около них указаны их порядковые номера и тип, приписанный данному высказыванию. Внутри кружка указаны имена классов сущностей, с которыми работает данное высказывание. Ясно, что нужная нам пара посылок должна пересекаться по одному из этих имен. Это общее имя будет в силлогизме играть роль M , а два других будут играть роль P и S . Комбинируя попарно все посылки нижнего яруса, получаем четыре возможности объединения посылок (четыре кружка) второго яруса на рис. 17, рядом с которыми римскими цифрами указаны номера фигур, получающихся при объединении соответствующих посылок. Ниже их написана процедура нахождения типа промежуточного заключения, который определяет правильный силлогизм этой фигуры. Левый кружок второго яруса

оказывается невозможным, так как в первой фигуре нет правильных модусов, начинающихся с сочетания EO . Это означает, что получить вывод на этом пути нельзя. Для остальных трех случаев вывод возможен. Справа от стрелок стоит тип промежуточного заключения, а внутри кружков, где вывод произошел, выписаны имена классов сущностей, о которых говорится в этих промежуточных заключениях.

Теперь процедура повторяется снова. Только в качестве исходного множества посылок выступает второй ярус кружков на рис. 17. На этом этапе возникает единственная возможность для вывода, и в верхнем ярусе образуется лишь одно заключение. Оно и является окончательным выводом для исходного сорита. Это заключение имеет тип E и выглядит как « $\forall x (W_x \rightarrow \neg W_1)$ ». Если перейти от символических имен к содержательной интерпретации, то заключение сорита будет выглядеть следующим образом: «Никакой ростовщик не нарушает своих обещаний».

Из конструкции вывода, показанной на рис. 17, следует, что посылка 3 оказалась лишней. Ее вклад в получение окончательного результата является нулевым. Если ее исключить из посылок сорита, то вывод не изменится.

Моделирование силлогистики

Основным элементом при выводах в силлогистике является переход от двух посылок к заключению. Переход после определения вида фигуры происходит автоматически с помощью учета номера фигуры и типов посылок. Если переход к заключению невозможен, то это выявляется сразу, как только обнаруживается, что в данной фигуре нет модуса с комбинацией типов посылок, выбранных в качестве исходных.

Если вернуться к тем 24 модусам, которые являются единственно верными в силлогистике Аристотеля, то можно обнаружить, что только в третьей фигуре все переходы к типу заключения однозначны. В остальных трех фигурах имеются случаи неоднозначного перехода. В первой фигуре AA порождает заключение типа A или типа I , EA — типа E или O . Во второй фигуре EA порождает заключения типа E или O , а AE — заключения типа E или O . Наконец, в четвертой фигуре тип посылки AE порождает заключения типа E или O .

Эта неоднозначность имеет весьма прозрачную природу, ибо имеют место соотношения: $Asp \vdash Isp$ и $Esp \vdash Osp$. Это значит, что из первой фигуры можно исключить модусы AAI и EAO , из второй — модусы EAO и AEO , а из четвертой — модус AEO . Эти модусы в силлогистике носят название *слабых*. Оставшиеся после их исключения 19 модусов называют *сильными*. Они являются независимыми и не сводятся друг к другу.

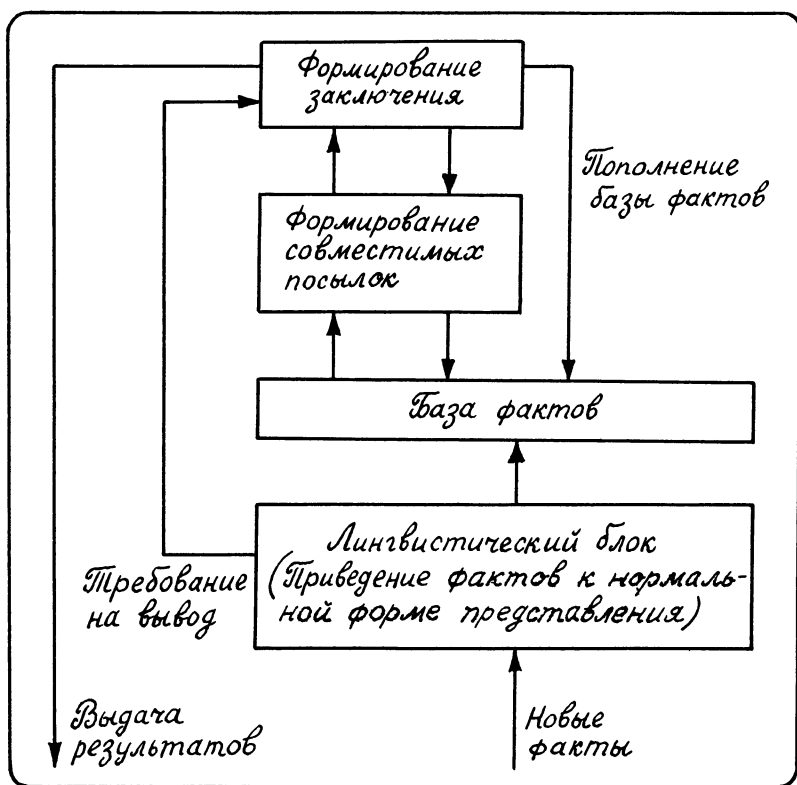


Рис. 18

На рис. 18 показана общая структура системы, позволяющей получать силлогистические выводы. Четыре блока системы выполняют следующие функции. Новые факты, поступающие в систему, попадают в лингвистический блок, который преобразует их в нормальную форму. Если вспомнить первоначальную форму посылок в сорите о ростовщиках и любителей выпить, то становится понятным, что работа лингвистического блока не столь проста. В его задачу входит не только «навешивание» кванторов «всякий» и «некоторые», но и вычленение имен классов сущностей, а также освобождение высказываний от тех слов, которые не влияют на суть той информации, которая в высказывании содержится. Лингвистический блок должен определить, говорит ли высказывание о некоторой единичной сущности или о совокупности таких сущностей.

Наконец, в задачу лингвистического блока входит расшифровка входного сообщения. Эти сообщения могут быть двух типов: факты для пополнения базы фактов системы и факты,

истинность которых хотелось бы установить. В первом случае факт после его перевода в нормальную форму передается в базу фактов, а во втором — поступает в блок формирования заключения, где он выступает в качестве задания на вывод.

Значительные проблемы возникают при исключении омонимии в названиях классов сущностей. Лингвистический блок должен, например, установить, что в рамках некоторого определенного универсума «люди» имена «трезвенники» и «те, кто не пьют» относятся к одному и тому же классу сущностей. Установление подобных соотношений невозможно без учета специфики той проблемной области, к которой относятся силлогистические утверждения. В памяти лингвистического блока должна храниться достаточная информация о возможных преобразованиях имен классов сущностей.

Если очередной факт, переведенный в нормальную форму, поступает в базу фактов, то прежде чем занять в ней свое место, он подвергается проверке с помощью процедур, встроенных в базу фактов. Сначала проверяется, не содержится ли такой же факт в базе. Если подобный факт уже есть, то он не дублируется. Затем проверяется, не противоречит ли вновь поступивший факт тем, которые уже хранятся в базе фактов. Противоречивыми являются пары, отмеченные крестиком в табл. 2.

Таблица 2

	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>I</i>	<i>O</i>	<i>a</i> есть <i>P</i>	<i>a</i> не есть <i>P</i>
<i>A</i>		+	✓	+	✓	+
<i>E</i>	+		+	✓	+	✓
<i>I</i>		+			✓	✓
<i>O</i>	+				✓	✓

Они противоречивы тогда, когда в обоих высказываниях речь идет об одинаковых классах сущностей *S* и *P*. Галочкой в таблице отмечены те пары, для которых тип высказывания, стоящий в столбце, есть следствие того типа высказывания, которым отмечена строка таблицы.

Поэтому если, например, на вход базы фактов поступил факт *Asp*, а в базе до этого существовал факт *Isp*, то производится замена *Isp* на *Asp*. Если же в базе хранился факт *Asp*, а на вход поступил факт *Isp*, то вновь поступивший факт в базу не записывается. Высказывания с единичными сущностями всегда записываются в базу фактов, если проверка их на противоречивость прошла успешно. При проверке их на противоречивость, кроме случаев, показанных в табл. 2, анализируется еще случай возникновения двух высказываний «*a* есть *P*» и «*a* не есть *P*», касающихся одного и того же *a*.

Какие решения принимает система, если она обнаруживает противоречие между вновь поступившим фактом и теми, которые до этого хранились в базе фактов? Какому из двух выявившихся противоречивых фактов система должна верить?

На эти вопросы практически нет ответа. Возможные альтернативы: хранение всех фактов при условии, что противоречивые факты относятся к различным возможным мирам; исключение этой пары фактов из базы фактов, так как в системе нет средств для определения предпочтительности истинности того или иного факта; привлечение дополнительной информации для выбора из двух противоречащих фактов одного, истинность которого обоснована больше.

Поясним эти альтернативы на следующем примере. Пусть в базе фактов хранился факт *Asp*: «Все лошади не есть летающие существа». И пусть на вход базы фактов поступили новые факты «Пегас есть лошадь» и «Пегас есть летающее существо». Эти факты входят в противоречие с ранее имевшимся фактом о том, что лошади не летают. Принятие первой альтернативы заключается в том, что класс сущностей с именем «лошади» делится на два класса с именами «лошади, которые не есть Пегас» и «пегасы». В качестве единичных сущностей первого класса выступают те конкретные сущности, о которых системе было известно ранее (если их в системе не было, то класс «лошади» не имеет в системе конкретных представителей). В качестве единичной сущности класса «пегасы» выступает тот Пегас, который был упомянут в поступившем в систему сообщении. Факт *Asp* сохраняется с учетом, что *S* есть имя класса «лошади, которые не есть Пегас», и вводится высказывание *Aqr*, в котором *Q* есть имя класса сущностей «пегасы».

При выборе второй альтернативы система должна будет стереть из базы фактов информацию о классе сущностей «лошади» или убрать из нее факт *Asp*. Обе эти возможности осуществить не так просто. Если производится удаление какой-то части базы фактов, то необходимо удалить и все те факты, которые прямо не связаны с классом сущности «лошади», но при образовании которых при силлогистическом выводе использовались факты, связанные с лошадьми. Ведь следы прямого упоминания класса «лошади» при таком выводе могут исчезнуть, если класс «лошади» в силлогистической фигуре занимал позицию *M*. Поэтому вторая альтернатива всегда требует глобальной перепроверки всех фактов, хранимых в базе, а на это уходит немалое время.

Наконец, если используется третья альтернатива, то система может, например, не воспринять факт, касающийся Пегаса, зная из каких-то побочных источников, что в памяти хранятся лишь факты, относящиеся к области коневодства, и что Пегас не является именем конкретной сущности.

Кроме чистого противоречия, выявить которое принципиально несложно, при вводе нового факта в базу фактов приходится сталкиваться и с проблемами *пресуппозиции*. Эти проблемы занимали важное место в исследованиях средневековых логиков. Они связаны, в частности, с тем, что истинность некоторого факта неразрывно связана с истинностью некоторых других фактов. Особенно это касается фактов, описывающих динамику событий во внешнем мире. Если, например, в систему поступает факт «Петров заболел», то после приведения его к нормальной форме мы будем иметь: «Петров тот, кто есть больные люди». Этот факт можно ввести в память системы, но при этом сама истинность этого факта предполагает, что некоторое время тому назад был истинен другой факт: «Петров тот, кто не есть больные люди». Этот факт, вытекающий из явления пресуппозиции, формально противоречит вновь вводимому факту. Здесь мы сталкиваемся со случаем третьей альтернативы. Из двух противоречивых фактов надо убрать из памяти системы первый, а второй записать в нее. С тем же явлением пресуппозиции связан и факт введения новых классов сущностей, о которых известно системе. Факт «Петр дал Ивану билет на поезд» по принципу пресуппозиции порождает совокупность высказываний вида: «Петр существует» или «Петр есть человек», «Иван есть человек», «Иван обладает билетом» или «Иван тот, кто есть люди, обладающие билетом» и т. п.

Продолжим обсуждение работы системы, структура которой показана на рис. 18. Возможны два режима работы системы: *режим пополнения* базы фактов и *режим доказательства теоремы*. В первом случае происходит добавление в базу фактов всех тех фактов, которые с помощью силлогистического вывода получаются из вновь введенного факта, и всех фактов, ранее хранившихся в базе фактов. Во втором случае формулируется теорема в виде вопроса о возможности вывода факта, поступившего на вход системы, из фактов, хранящихся в базе фактов. В процессе вывода блок формирования совместимых посылок выбирает из базы фактов пары посылок, которые образуют одну из четырех фигур силлогизма, т. е. посылки, сцепленных между собой общим классом сущностей *M*.

После нахождения такой пары она передается в блок формирования заключения. В этом блоке проверяется возможность вывода, т. е. возможность того, что пара типов посылок в данной фигуре силлогизма образует правильный модус. Если правильный модус не образуется, то вырабатывается требование на поиск новой пары посылок. Если же вывод возможен, то его результат сравнивается с высказыванием, являющимся целью доказательства теоремы. Если полученное заключение есть искомое высказывание, то процесс доказательства обрывается и результат, говорящий о том, что теорема верна, выдается из системы. Если этого не

произошло, то полученное заключение добавляется в базу фактов и процесс поиска доказательства продолжается.

В рассмотренной процедуре возникает проблема остановки. Если нужный факт не выводится из той системы посылок, которая имеется в базе фактов, то как это узнать? Единственный возможный ответ связан с полным перебором всех сочетаний посылок, дающих фигуры силлогизма. Это же касается и случая прекращения процесса пополнения базы фактов после введения нового факта в систему.

Суммируя все сказанное, необходимо отметить, что, несмотря на внешнюю простоту процедуры вывода в силлогистике, в ней, как в капле воды, отражаются все те трудности, которые связаны с поиском вывода. Прежде всего это трудности понимания поступающих в систему сообщений, истолкования их в терминах, понятных на уровне внутреннего языка (в нашем случае это необходимость в процедурах нормализации сообщений). Затем это ряд трудностей, вызываемых процедурами проверки поступающего сообщения на согласованность содержащейся в нем информации с той информацией, которая ранее хранилась в памяти системы. Это трудности поиска, не опирающегося на какую-то цель, или при известной цели (в случае доказательства теоремы) не опирающегося на какие-либо соображения о путях движения по дереву вывода. Наконец, это трудности, связанные с прекращением процедур вывода и формированием отрицательного ответа на поставленный перед системой вопрос о выводимости.

Все эти трудности в той или иной форме будут присущи и другим системам моделирования человеческих рассуждений, ибо они являются принципиальными для всех *формальных систем*, частным случаем которых является силлогистика Аристотеля.

Формальная система — это четверка вида

$$\Phi = \langle T, L, Q, R \rangle .$$

Множество T есть *множество базовых элементов*, исходных кирпичиков, не расчленяемых на более простые. Примерами таких элементов служат буквы (графемы) или детали в детском конструкторе. Единственное требование к элементам множества T состоит в том, что для любого элемента за конечное число шагов можно узнать, принадлежит он T или нет, а также отличить одни элементы от других, отождествляя одинаковые элементы.

Множество L есть *множество синтаксических правил*. С их помощью из элементов множества T строятся более сложные образования, которые называются *синтаксически правильными*. Так, из графем возникают линейно упорядоченные сочетания, называемые словами, предложениями (для их образования используется специальный знак — пробел и знаки пунктуации), текстами; из деталей детского конструктора возникают более сложные

образования, в которых отдельные элементы набора соединяются крепкими элементами.

Множество Q состоит из выделенных на основе некоторого соображения синтаксически правильных образований. Такое множество называется начальным или априорно принимаемым. Часто синтаксически правильные образования, входящие в Q , называют *аксиомами*. Тогда Q называют *множеством аксиом*.

Наконец, R представляет собой совокупность процедур, с помощью которых можно получать одни синтаксически правильные совокупности из других. Эти процедуры носят название *правил вывода*.

Формальные системы обладают одним общим свойством — автономностью. Если в такой системе задать все четыре множества, то она самостоятельно начнет генерировать множество выводимых в ней синтаксически правильных совокупностей. Они будут порождаться в результате применения различными способами правил вывода к совокупностям из множества Q . Сами элементы Q считаются в данной формальной системе выведенными всегда, т. е. априорно выведенными.

Легко усмотреть, что силлогистика Аристотеля и ее расширения, описанные нами, являют собой пример формальной системы. В качестве элементов T выступают буквы, символизирующие имена конкретных сущностей и имена классов, а также символы A , E , I и O . Синтаксические правила образуют из этих элементов нормальные формы представления высказываний Asp , Esp и т. п. В качестве исходных аксиом выступают законы силлогистики. Наконец, правилами вывода являются фиксированные выводы с одной посылкой, предназначенные для эквивалентных преобразований высказываний (например, $Esp \vdash Eps$), а также таблица получения заключений в правильных модусах при наличии посылок для этих заключений. Такая силлогистическая система способна при заданном множестве, в состав которого кроме законов силлогистики входит некоторое число высказываний, принятых в этой системе за априорно выведенные, породить все высказывания, которые вытекают из Q и правил вывода для силлогизмов.

Другие подходы к моделированию человеческих рассуждений, возникшие в столь давние времена, что и силлогистика, не сумели достигнуть ее уровня. Но анализ их достижений полезен, ибо позволяет ввести некоторые типы нестрогих человеческих рассуждений, которые были отброшены силлогистикой как не отвечающие строгим логическим принципам. Ибо истина и ложь в человеческих рассуждениях это не Истина и Ложь с большой буквы, о которых говорят строгие логические теории. Но и они имеют право говорить об Истине лишь тогда, когда исходные факты, служащие посылками, не могут быть подвергнуты никакой критике. А возможно ли это? Во всяком случае, возможно ли это, когда мы рассуждаем о проблемных областях, знание о кото-

рых у нас не абсолютно? Ответ, как мне кажется, дан героем повести «Сказка о тройке» А. и Б. Стругацких Фарфуркисом:

«Действительно, что такое ложь. Ложь это отрицание или искажение факта. Но что есть факт? Можно ли вообще в условиях нашей невероятно усложнившейся действительности говорить о фактах? Факт есть явление или деяние, засвидетельствованное очевидцами. Однако очевидцы могут быть пристрастными, корыстными или просто невежественными. Факт есть деяние или явление, засвидетельствованное в документах. Но документы могут быть подделаны или сфабрикованы. Наконец, факты есть деяния или явления, фиксируемые лично мной. Однако мои чувства могут быть притуплены или даже совсем обмануты привходящими обстоятельствами. Таким образом, оказывается, что факт как таковой есть нечто весьма эфемерное, расплывчатое, недовосторженное, и возникает естественная потребность отказаться от такого понятия. Но в этом случае ложь и правда автоматически становятся первопонятиями, неопределимыми через какие бы то ни было более общие категории... Существует Большая Правда и антипод ее Большая Ложь. Большая Правда столь велика и истинность ее столь очевидна всякому нормальному человеку, каким являюсь и я, что опровергать ее и искажать ее, т. е. лгать, становится совершенно бессмысленно. Вот почему я никогда не лгу и не лжесвидетельствую».

Это высказывание Фарфуркиса должно звучать для читателя предостережением от слепого поклонения ясным и прозрачным моделям рассуждений, в основе которых лежат генераторы правильных заключений, т. е. формальные системы. Ибо в подобных генераторах вывод всегда правилен, но это ничего не говорит об истинности получаемого заключения. Истинность определяется не только правильностью вывода, обеспечиваемой самой формальной дедуктивной системой, но и истинностью тех посылок, которые были выбраны, в качестве аксиом. Именно поэтому во времена Аристотеля силлогизм

Все лебеди белые
Эта птица есть лебедь

Эта птица белая

казался истинным, ибо посылка «Все лебеди белые» подтверждалась, как и посылка «Все люди смертны», всем человеческим опытом, накопленным в Греции той эпохи. И понадобились сотни лет, чтобы убедиться в ложности этой посылки, ибо в Австралии были обнаружены черные лебеди. И если теперь заключение силлогизма о лебедях является явно ложным, сам способ его получения, т. е. путь доказательства остается правильным.

Забытые науки

На пути развития человеческих знаний о внешнем мире возникали и исчезали целые науки. Одни из них, например алхимия

или риторика, известны современному человеку хотя бы понаслышке, о других, например экзегетике, герменевтике или мантике, знает весьма узкий круг специалистов, занимающихся историей науки и культуры.

Но в последние годы отмечается возрождение интереса к этим, казалось бы, прочно забытым наукам. Появляются книги, посвященные алхимии и ее влиянию на современные представления в химии, вновь возрождаются исследования в области риторики, используемой как в теории аргументации (о которой в этой книге речь будет позже), так и в юриспруденции. Герменевтические схемы становятся предметом тщательного изучения специалистами, работающими в области семантики текстов. Поистине многое новое — это хорошо забытое старое. Очищенные от мистической шелухи, в которую они были надежно запряты, некоторые результаты алхимии, герменевтики или экзегетики начинают включаться в современную сумму научных сведений и методов, переживая новое рождение.

Алогичность ряда положений священных книг древности, наличие в них непонятных и многозначно толкуемых мест породили среди adeптов соответствующего учения стремление к выявлению той внутренней логики и непротиворечивости, которая должна быть в «боговдохновенных» сочинениях. Упоминавшийся уже Фома Аквинский использовал для этих целей силлогистику Аристотеля. Комментаторы первых пяти книг Ветхого завета, считавшихся в иудаизме священными, избрали другие приемы рассуждений, давшие обширную талмудическую литературу, представляющую собой логические (точнее, герменевтические) комментарии к Пятикнижию и комментарии на ранее сделанные комментарии.

Нас, конечно, интересуют не те конкретные результаты, которые получили богословы при использовании разработанных ими приемов получения заключений, а сами приемы как схемы возможных человеческих рассуждений. Эти схемы распадаются на три типа: *герменевтические, экзегетические и гомилетические*. В герменевтических схемах заключения выводятся на основании лишь того, о чем говорится в тексте. Два других типа рассуждений для построения заключения используют внетекстовую информацию. Для получения экзегетических выводов привлекается информация, связанная с контекстом, в котором был порожден данный текст. Это может быть информация об исторических условиях создания текста, об авторе или авторах текста, о принятых во времена написания текста условиях при использовании конкретных выражений и т. п. Легко видеть, что герменевтика и экзегетика не такие уж забытые науки. По сути, все комментаторы литературных и научных сочинений, специалисты по исследованию культуры и многие другие специалисты как раз и занимаются построением рассуждений в духе герменевтики и

экзегетики. Наконец, гомилетические рассуждения основаны на получении заключений, опирающихся на морально-этические и нравственные посылки, связанные с текстом и его создателями. Рассуждения такого типа порождают собственное поведение на основе истолкования текста или оценку на этой основе поведения других лиц.

В данном разделе основное внимание будет уделено герменевтическим схемам. В таких схемах происходит анализ не отдельных высказываний, как это было, например, в силлогистике Аристотеля, а всего текста, в котором существует данное высказывание. Для герменевтики важно не только то, о чем говорится в тексте, но и как устроен сам текст, как организована его структура, в каком порядке идут в нем высказывания и отдельные слова в этих высказываниях.

Рассмотрим ряд схем получения заключений, характерных для герменевтики.

1. В одном из стихотворений К. Бальмонта есть такая строка: «Все моря целовали его корабли». Эта фраза явно неоднозначна. Неясно, кто кого целует: моря корабли или корабли моря. Однако если внимание читателя специально не обратить на этот факт, то эта неоднозначность как бы исчезает. Подавляющее большинство читателей (как, по-видимому, и сам К. Бальмонт) будет считать, что именно моря целовали корабли, а не наоборот. Весьма известный пример такого рода: «Мать любит дочь» — также демонстрирует неоднозначность субъекта и объекта, но большинство людей, встречая подобную фразу, твердо уверены, что субъектом ее является мать, а не дочь. И, наконец, еще один пример: «Он встретил ее на поляне с цветами». У этой фразы три смысла в зависимости от того, где были цветы: у него в руках, у нее в руках или просто росли на поляне. Абсолютное большинство людей воспринимает эту фразу однозначно, считая, что цветы росли на поляне, а не составляли букета в руках у него или у нее.

Мы почти бессознательно учитываем при истолковании смысла русских предложений порядок слов в них и взаимную удаленность одних слов от других. Мы склонны считать, что в предложении сначала упоминается субъект, а затем объект, на который направлено действие. Мы склонны также считать, что чем ближе находятся слова в предложении друг к другу, тем теснее связь между ними. Эти психологические законы восприятия текста опираются на наш повседневный опыт работы с текстами и повседневное восприятие живой речи и отражают тот факт, что в подавляющем большинстве случаев это действительно так и бывает. А многозначно понимаемые фразы встречаются весьма редко.

Опишем ряд герменевтических схем, основанных на учете взаимного расположения слов в тексте.

1а. Обозначим через S некоторый класс сущностей, а через S_i — некоторые подклассы этого класса. Если во фразе сначала что-то утверждается об S , а затем то же самое утверждается об $\{S_i\}$, то заключение относится лишь к множеству $\{S_i\}$. Другими словами, общее, предшествующее частному, толкуется как частное. Поясним это на следующем примере:

«Если вам хочется услышать истинную поэзию, то возьмите русских поэтов: Пушкина, Лермонтова, Тютчева и почитайте их». С точки зрения приема, который мы анализируем, заключение рассуждения нужно понимать так, что Некрасова читать не рекомендуется, ибо общее «русские поэты» предшествует частному, заданному перечислением подкласса класса «русские поэты», содержащему только трех указанных поэтов.

1б. Если частное предшествует общему, то заключение касается общего. Пример: «Если вам хочется услышать истинную поэзию, то возьмите Пушкина, Лермонтова, Тютчева, русских поэтов и почитайте их». В этом случае с точки зрения законов герменевтики почитать надо не обязательно одного из трех поэтов, чьи имена перечислены перед именем общего для них класса сущностей «русские поэты», но любого из поэтов, входящего в этот класс.

1в. Если частное заключено между двумя общими, то заключение относится к тем расширениям частного, которые сохраняют сущность этих частных. Следующий пример поясняет этот прием: «Ты можешь купить на свои деньги все, что хочешь: посуду, холодильник, гарнитур для спальни, словом, все, что тебе нужно». Из этой фразы должен следовать вывод, что можно истратить деньги на любые вещи, нужные для оборудования квартиры, но никак не на одежду или украшения.

2. Если имеются два утверждения, из которых одно относится к некоторому классу сущностей S , а другое — к некоторому подклассу класса S , то закон не всегда распространяется на этот подкласс. Возможны различные случаи.

2а. Если частный случай упомянут в контексте общего случая, то на частный случай распространяются все выводы, вытекающие из общего случая, а все пояснения к частному случаю являются истинными и для общего случая. Рассмотрим пример: «Всякая найденная вещь должна быть возвращена владельцу или передана в стол находок. Если кто-то забыл книгу, выходя из метро, то надо окликнуть его, пока он не вышел из вагона, или догнать его. Если же пассажира в вагоне не было, когда была обнаружена книга, то ее надо сдать в стол находок». Согласно правилам герменевтики, восходящим еще к толкованию Пятикнижия талмудистами, подобный текст переносит все, что сказано о книге, на любые предметы, обнаруженные в вагоне метро.

26. Если некоторое частное утверждение общего утверждения находится с ним в тексте одновременно и содержит посылки, более частные, чем общее утверждение, то этот частный случай есть исключение из общего утверждения. Примером такой схемы рассуждений может служить вывод о том, что в общественном транспорте военнослужащий не обязан отдавать честь вышестоящему начальнику, так как в уставе одновременно содержится общее требование отдачи чести военнослужащим при встрече со старшим по званию, а также частное требование, указывающее конкретные условия (посылки), при которых честь не отдается.

2в. В предшествующем случае посылки частного утверждения входили в посылки общего утверждения, но приводили к другому заключению, отменяющему общее. Но возможен случай, когда заключение частного утверждения не только не отменяет общее, но как бы усиливает его. Проиллюстрируем это на примере закона о хищениях, который вполне мог бы быть в уголовном кодексе некоторой страны: «При хищении имущества граждан преступник несет наказание в виде тюремного заключения от двух до пяти лет. При хищении в особо крупных размерах срок его наказания от семи до девяти лет.» В этом примсре второе утверждение по форме является частным, а первое общим. Однако заключение второго утверждения усиливает заключение первого.

Два последних типа герменевтических рассуждений весьма часто используется в юриспруденции, усиливая и смягчая наказания в зависимости от тех или иных конкретных посылок, входящих, как правило, в посылки общих утверждений.

3. Этот герменевтический прием рассуждения весьма распространен в юриспруденции всех стран. Если в некотором месте текста, когда говорится о чем-то и допускается, что это что-то необходимо следует из посылок q_1 и q_2 , а в другом месте этого текста говорится о том же самом, но в качестве необходимой посылки указывается лишь q_1 , то и в первом случае посылку q_2 можно опустить.

4. Если в тексте содержатся два утверждения, противоречащие друг другу, то либо в тексте имеется утверждение, примиряющее их, либо такое утверждение надо построить, введя в противоречащие утверждения такую посылку, которая «разводит» их и снимает их противоречивость. Этот прием весьма хитроумно использовали талмудисты для устранения вопиющего противоречия, связанного с указаниями срока употребления опресноков во время пасхи. В книге «Второзаконие» в одной и той же главе говорится, что опресноки надо употреблять в пищу и шесть и семь дней. Ситуация исключительно тяжелая. Но вот как талмудисты преодолели ее. По учению фарисеев первый сноп нового урожая торжественно приносился в храм на

второй день пасхи. После его освящения в храме разрешалось есть хлеб нового урожая. Учитывая это обстоятельство, талмудисты устранили противоречие, добавив к заключениям о том, что опресноки надо есть шесть дней и что опресноки надо есть семь дней, посылки о типе муки, используемой при выпечке опресноков. Если это мука получена из зерен старого урожая, то такие опресноки можно есть все семь пасхальных дней, а если для их приготовления используется мука из зерен нового урожая, то число дней потребления опресноков, естественно, сокращается до шести.

К сожалению, процедуры поиска дополнительных посылок, «разводящих» противоречивые высказывания, до сих пор не созданы. Если бы это удалось, то многие проблемы сохранения непротиворечивости баз данных и баз знаний в современных интеллектуальных системах, а также непротиворечивости рассуждений, опирающихся на факты и знания, были бы решены.

5. Если в ряду однотипных утверждений что-то упоминается ранее, то оно автоматически переносится на все последующие утверждения. Если бы этот прием герменевтики перенесли на текст известной русской сказки «Терем-Теремок», то можно было бы существенно сократить ее текст, ибо повтор всего диалога с вновь пришедшим к теремку персонажем не нужен. Достаточно лишь последней его части, отличающей его от предшествующего диалога. Правда, тогда бы потерялась вся прелесть и привлекательность этой сказки.

Наверное, читатель уже уловил суть герменевтических схем. Конечно, в отличие от строгих силлогистических рассуждений, сомнение в справедливости которых возможно лишь при очень тщательном их анализе, правильность герменевтических рассуждений можно подвергнуть критике «с ходу». Однако с их помощью удастся объяснить многие особенности человеческих рассуждений, которые, как мы уже неоднократно подчеркивали, не являются в большинстве своем рассуждениями, порождаемыми формальными системами. Именно поэтому мы рассмотрим еще несколько «экзотических» схем рассуждений.

Разнообразные логические системы, родившиеся в Индии, Китае, Японии и других странах, дают немало примеров моделей рассуждений, которые не принимаются теми, кто считает необходимым, чтобы в основе логической системы дедуктивного типа лежала идея формальной системы. Здесь не место давать сколь-нибудь глубокий анализ систем Востока, в которых логика тесно переплетается с философией, а зачастую и с религией. Наша задача состоит лишь в том, чтобы у читателя сложилось представление, что многие особенности человеческих рассуждений (прежде всего опирающихся на правосторонние механиз-

мы), никак не отражаемые в логических теориях Европы, находят место в теориях, рожденных в Азии.

Этим системам ничуть не были чужды идеи чисто дедуктивных рассуждений по типу силлогистики Аристотеля. Вот как звучит дошедший до нас из глубины веков разговор философа Махинды, посланца царя Ашоки, ревностного проповедника и распространителя буддизма, с царем Цейлона Ланка Деванампийатиссом. В этом разговоре Махинда проверяет логические способности царя Цейлона, ибо для восприятия философии буддизма, по мнению Ашоки, требуется определенный уровень логического мышления, способности к рассуждениям логического типа:

- Как называется это дерево, о царь?
- Это дерево называется манго.
- Существуют ли здесь еще деревья манго, кроме этого?
- Существует множество деревьев манго.
- А существуют ли здесь другие деревья, кроме этого дерева манго и других деревьев манго?
- Существует множество деревьев, о достопочтенный, но это деревья, которые не есть деревья манго.
- А существует ли здесь, кроме других деревьев манго и тех деревьев, которые не есть деревья манго, еще другие деревья?
- Вот это дерево манго, о достопочтенный.
- Есть ли здесь люди твоего рода, о царь?
- Здесь много людей моего рода, о достопочтенный.
- А есть ли здесь кто-либо, не принадлежащий к твоему роду, о царь?
- Да, их здесь еще больше, чем людей моего рода.
- А есть ли здесь кто-либо, кроме людей твоего рода и других?
- Это я, о достопочтенный.

Результатом этой проверки Махинда был, несомненно, доволен. Условия для распространения буддизма оказались на Цейлоне вполне подходящими, ибо царь Ланка Деванампийатисс вполне справился с задачами выделения классов сущностей и выявления тех жергоновых отношений, которые между ними имеются. Он даже оказался способным на силлогистические заключения! Этот пример показывает, что в Индии периода развития буддийского учения логика уже достигла уровня силлогистики. Однако в ней не был сделан решающий шаг: не совершился переход к замкнутой дедуктивной системе. Силлогистические заключения остались всего лишь одним из приемов для проведения рассуждений. Интересно, что в буддийской логике силлогизм был не трехчленным, как у Аристотеля (две посылки и заключение), а пятичленным. Но его пятичленность определялась не тем, что использовались сориты с четырьмя посылками, а тем, что он представлял собой как бы два силлогизма

Аристотеля, сцепленные друг с другом. Рассмотрим пример такого рассуждения.

На горе виден дым
В очаге также бывает дым, когда есть огонь
Нет дыма без огня
На горе тот самый дым, что и в очаге

На горе есть огонь

В этом рассуждении второе утверждение найдено по аналогии с первым наблюдением. Третье утверждение есть переход от частного к общему. Четвертое утверждение устанавливает связь по общности (аналогии) между первым и вторым утверждением. Наконец, общее заключение выводится из всего предшествующего. Таким образом, в пятичленном рассуждении, приведенном нами, используются одновременно индуктивные и дедуктивные рассуждения, а также вывод по аналогии.

Не чужды были буддийским мыслителям и герменевтические схемы. Они, например, широко пользовались так называемым «принципом куропаток», который звучал так: «Если в тексте о чем-то говорится как о множестве, то число элементов множества равно трем». Этот странный принцип обосновывается тем, что по закону о жертвоприношениях количество жертвенных животных (в том числе и куропаток) никак не ограничивалось. С другой стороны, имел место закон, запрещающий убийство. Коллизия этих двух требований и породила конформистский «принцип куропаток».

В философском учении школы хуаянь, процветавшей в Китае, имеются элементы логики, в которой закон тождества понимается не статично, как в силлогистике Аристотеля, а диалектически. В такой форме закон тождества звучит следующим образом: «Всякое Q есть Q и одновременно не есть Q ». В учении о мире дхарм говорится:

«Мир дхарм ши это мир явлений, которые изменчивы, многообразны, отличны друг от друга, все события и предметы этого мира взаимосвязаны. Мир дхарм не является миром сущностей, неизменных и вечных. Этот мир есть некоторая единая субстанция. И оба мира неотделимы друг от друга, взаимозависимы, образуют единое неразрывное целое. Ши и ли взаимно обусловлены, взаимно тождественны и различны (выделено нами)».

В этой позиции предугаданы многие законы, которые позже стали изучаться в диалектической логике. В настоящее время эта логика находится в стадии становления, в стадии поиска формального аппарата, который позволил бы ей достичь того же уровня формализации, который достигнут в формальных логиках, отражающих человеческие рассуждения о мире явлений, в котором нет диалектических переходов. Но уже в древности

философы и мыслители пытались в своих логических построениях преодолеть статичность и метафизичность описываемого мира и выдвигать положения, подобные тем, которые приняты в философской системе хуаянь или сформулированы в древнеиндийской сутре Ланкаватра: «Вещи не такие, как они выглядят, но и не другие».

Попытки ввести диалектику в схемы логических рассуждений делались, конечно, не только на Востоке, но и в Европе. Достаточно вспомнить Гегеля с его диалектическим методом. Но до сих пор так и не удалось создать формальную систему, в рамках которой описывались бы законы рассуждения, опирающиеся на диалектику. Это дело будущего. И, возможно, для этого потребуется расширение самого понятия формальной системы.

А сейчас мы переходим к описанию двух мощных формальных дедуктивных систем, порожденных наукой Нового времени. Именно эти системы впервые позволили автоматизировать ряд характерных для человека способов рассуждений, опирающихся на схему дедуктивного вывода.

Глава третья.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОСТОВЕРНЫХ РАССУЖДЕНИЙ

Где меч силлогизма горел и сверкал,
Проверенный чистым рассудком,
И что же? Сражение он проиграл
Во славу иным прибауткам!

Н. Заболоцкий. Битва слонов

Исчисление высказываний

Под *высказыванием* будем понимать утверждение, относительно которого в любой момент можно сказать, является оно истинным или ложным, или по крайней мере предполагать, что ему может быть приписана такая интерпретация. Например, фразы «Пик Коммунизма есть высочайшая вершина СССР», «Все жители земли имеют рост более двух метров», «В Африке находятся более десяти еще неизвестных захоронений фараонов Египта» являются высказываниями. Первое из них истинно, второе — ложно (легко приводятся конкретные опровергающие примеры), а относительно третьей фразы мы не можем говорить, является она истинной или ложной, так как наши знания о еще не найденных погребениях фараонов пока недостаточны. Но мы вполне можем предполагать, что это высказывание, ибо оно обязательно либо истинно, либо ложно.

Не всякие фразы на естественном языке могут быть высказываниями. Например, утверждение «Девушка была очень кра-

сивой» таковым не является. Одни мужчины могут согласиться с мнением, высказанным в этой фразе, т. е. посчитать, что это утверждение истинно, но другие могут и не принять данной точки зрения, т. е. посчитать утверждение ложным. Такого рода утверждения в рамках формальной системы, называемой *исчислением высказываний*, не рассматриваются.

О формальной системе речь шла во второй главе, и читатели, наверно, помнят, что такие системы задаются как четверки, состоящие из множества базовых элементов T , множества синтаксических правил L , множества аксиом Q и множества правил вывода R . Поэтому, если мы хотим рассматривать исчисление высказываний как формальную систему, то должны задать указанные четыре множества.

В качестве элементов множества T будут выступать *элементарные высказывания*, обозначаемые малыми латинскими буквами. Считать или не считать некоторое высказывание элементарным, зависит от нашей воли. Как станет ясно из дальнейшего, этот вопрос не имеет принципиального значения в рамках той дедуктивной системы, которую мы строим. Для описания процедур построения производных высказываний из элементарных, т. е. синтаксических, правил надо предварительно ввести знаки логических связок. В качестве таких связок будут выступать уже известные по первой главе конъюнкция, дизъюнкция и отрицание, которые будем обозначать $\&$, \vee и \neg (иногда заменяя, как и ранее, этот последний знак чертой сверху буквы, соответствующей элементарному высказыванию), а также новая связка, называемая *импликацией*, которую будем обозначать \rightarrow .

Сформулируем теперь совокупность синтаксических правил для исчисления высказываний.

1. Всякое элементарное высказывание является правильной совокупностью (будем говорить далее *правильной формулой*).

2. Если α и β являются правильными формулами, то правильными формулами являются также $\neg\alpha$, $(\alpha\&\beta)$, $(\alpha\vee\beta)$ и $(\alpha\rightarrow\beta)$.

3. Других правильных формул в исчислении высказываний нет.

Между знаками логических связок \neg , $\&$, \vee и \rightarrow и конструкциями естественного языка существует некоторая связь, которую проиллюстрируем на примерах. Воспользуемся стихотворением Давида Самойлова «Постель, поэт и Анна». Вот его начало:

Там Анна пела с самого утра
И что-то шила или вышивала.
И песня, долетая со двора,
Ему невольно сердце волновала.

В этом четверостишии можно выделить четыре элементарных высказывания: a — «Там Анна пела с самого утра», b —

«Что-то (Анна) шила», c — «Что-то (Анна) вышивала», d — «Песня, долетая со двора, ему невольно сердце волновала». В скобках мы ввели субъект, отсутствующий во второй строке приведенного отрывка. Общая логическая структура всего четверостишия может быть описана следующим образом: (a И b ИЛИ c) И d). Большими буквами мы выделили союзы, которые в явной форме присутствуют в тексте Д. Самойлова. Можно ли от этой записи перейти к логическим связкам?

Вспомним, что такое конъюнкция и дизъюнкция. Во второй главе, определяя эти связи, мы говорили, что $\alpha \& \beta$ является истинным, если истинны оба утверждения α и β , а $\alpha \vee \beta$ является истинным, если истинно хотя бы одно из утверждений α или β . Такое определение связок позволяет перейти от структуры, в которой используются союзы И и ИЛИ, к записи $((\alpha \& (b \vee c)) \& d)$, которая согласно синтаксическим правилам исчисления высказываний является правильной формулой этого исчисления. Правда, внимательные читатели могут усмотреть в этом переходе некоторую некорректность. Дело в том, что выражение $\alpha \vee \beta$ является истинным и тогда, когда одновременно α и β истинны. Но подобный случай в нашем примере невозможен. Анна либо шила, либо вышивала. Одновременно делать то и другое она не могла. Другими словами, одновременная истинность α и β должна была бы давать сигнал о ложности такого утверждения, а дизъюнкция утверждает, что оно истинно. Эту ситуацию можно исправить, введя связку, называемую разделительной дизъюнкцией. Но мы этого делать не будем, так как такая связка есть комбинация более простых связок, которые мы уже ввели: $(\neg \alpha \& \beta) \vee (\alpha \& \neg \beta)$.

Проверим, достигаем ли мы нужной цели с помощью данной комбинации. Если α и β ложны, то ложны правильные формулы $(\neg \alpha \& \beta)$ и $(\alpha \& \neg \beta)$ и, следовательно, по свойству дизъюнкции ложна и вся большая формула. Если же α и β одновременно истинны, то опять обе конъюнкции ложны, так как в них входят ложные высказывания, получающиеся из истинных путем отрицания, и, следовательно, вся дизъюнкция опять является ложной. И лишь тогда, когда из двух высказываний α и β одно истинно, а другое ложно, мы получаем истинность всего высказывания. После этого уточнения правильная формула исчисления высказываний, соответствующая нашему примеру, примет вид $((\alpha \& ((\neg b \& c) \vee (b \& \neg c))) \& d)$.

Рассмотрим еще одну цитату из того же стихотворения: «...Если трон находится в стране в руках деспота, тогда дворянства первая забота сменить основы власти и закон». Введем два элементарных высказывания: g — «Трон находится в стране в руках деспота» и h — «Дворянства первая забота сменить основы власти и закон». Тогда логическая структура всего высказывания может быть представлена в виде (ЕСЛИ

g ТОГДА h). Для перехода к правильной формуле исчисления высказываний воспользуемся импликацией. Раньше она не встречалась. По определению выражение $\alpha \rightarrow \beta$ истинно во всех случаях, кроме того, когда α истинно, а β ложно. Другими словами, из истинности α в импликации, которая является истинной, всегда следует истинность β .

Исследуем запись ($g \rightarrow h$). Если g истинно, то h должно быть истинно, если фраза, которая вложена Д. Самойловым в уста Пестеля, является истинной. Это хорошо, но что будет в случае, когда утверждение g ложно? Для импликации это означает, что как при истинности h , так и при его ложности вся фраза в целом остается истинной. Другими словами, если неверно, что «Трон находится в стране в руках деспота», то дворянство может менять основы власти и закона, а может этого и не делать. Всё равно сложное высказывание будет сохранять свою истинность. Если же мы потребуем, чтобы при ложности g всегда было бы ложным и все высказывание целиком, сохраняя остальные свойства импликации, то мы опять вернемся к конъюнкции.

Наверное, самым разумным с точки зрения здравого смысла было бы вообще отказаться от определения истинности или ложности выражения (ЕСЛИ α ТОГДА β), когда α является ложным. Ибо для выводов в этом случае нет никакой информации. Во второй главе мы использовали знак выводимости \vdash . Вот с его-то помощью и можно формализовать случай, когда в записи $g \vdash h$ из истинности g всегда следует истинность h , а при ложности g ничего сказать нельзя. Но знак выводимости не является логической связкой и не входит в синтаксис исчисления высказываний. Поэтому, оставаясь в рамках этого исчисления, мы вынуждены пользоваться импликацией.

И еще одно замечание, касающееся импликации. Эта связка, как и разделительная дизъюнкция, может быть сведена к комбинации других связок, имеющих в исчислении. Читатели легко могут убедиться в справедливости замены $\alpha \rightarrow \beta$ на $\neg \alpha \vee \beta$. Однако по ряду причин в исчислении высказываний в его классической форме импликация сохраняется как самостоятельная связка*.

Не нужно думать, что переход от фраз на естественном языке к соответствующим им правильным формулам исчисления высказываний столь прост. На этом пути стоит немало трудностей, И прежде всего потому, что частицы и союзы языка типа НЕ, И, ИЛИ, ТО, ЕСЛИ и т. п. не являются однозначными свидетельствами наличия похожих на них связок. Цитата из стихо-

* Легко также проверить, что из трех связок \neg , $\&$ и \vee можно оставить только две, так как $\alpha \& \beta$ заменяется на $(\neg \alpha \vee \neg \beta)$, а $\alpha \vee \beta$ на $(\neg \alpha \& \neg \beta)$.

творения «Смерть поэта» Д. Самойлова, иллюстрирует это положение:

И не ведал я, было ли это
Отпеванием времени года,
Воспеваньем страны и народа
Или просто кончиной поэта.

Встречающиеся здесь И и ИЛИ не являются прямыми аналогами связок исчисления высказываний.

Мы ввели множество базовых элементов и множество синтаксических правил. Теперь необходимо ввести множество аксиом. В логике в качестве множества аксиом выбирают обычно совокупность правильных формул, которые являются *общеизвестными* (или *тождественно истинными*). Высказывания, описываемые этими формулами, таковы, что они всегда истинны. Вот пример такого множества формул:

$$((\alpha \vee \alpha) \rightarrow \alpha); (\alpha \rightarrow (\alpha \vee \beta)); \\ ((\alpha \vee \beta) \rightarrow (\beta \vee \alpha)); ((\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow ((\gamma \rightarrow \alpha) \rightarrow (\gamma \rightarrow \beta))).$$

Читатели могут сами убедиться в том, что при всех комбинациях истинности и ложности формул α , β и γ четыре выписанные аксиомы всегда являются истинными. Такие аксиомы принято называть *абсолютными* или *логическими*.

Перейдем к описанию правил вывода R . Вспомним, что Аристотель, создавая свои силлогистические правила, добивался того, чтобы из истинных посылок всегда следовали истинные заключения. Если в качестве аксиом используются абсолютные аксиомы, то правила вывода должны обладать тем свойством, что их применение не должно нарушать истинность. Другими словами, из тождественно истинных формул должны выводиться лишь тождественно истинные формулы. Введем, учитывая это, два правила вывода исчисления высказываний.

Первое правило носит название *правило подстановки*. Согласно ему в формулу, которая уже выведена, можно вместо некоторого высказывания подставить любое другое при непременном условии, что эта подстановка сделана во всех местах вхождения заменяемого высказывания в данную формулу. Такая подстановка сохраняет свойство формулы быть тождественно истинной. Если в аксиому $(\alpha \rightarrow (\alpha \vee \beta))$ вместо α подставить любую формулу, например $(\beta \& \gamma)$, то формула $((\beta \& \gamma) \rightarrow ((\beta \& \gamma) \vee \beta))$ останется тождественно истинной, что легко доказывается перебором всех комбинаций истинностных значений β и γ и проверкой того, что для всех них полученная формула остается истинной.

Второе правило называется модус поненс (лат. *modus ponens*) или *правило заключения* и выглядит следующим образом:

если α и $(\alpha \rightarrow \beta)$ являются истинными формулами, то формула β также истинна. Если α является истинной, то истинность $(\alpha \rightarrow \beta)$ означает, что β является истинной. Поэтому правило заключения не портит истинности выводимых формул.

Мы полностью описали исчисление высказываний. Заметим еще раз, что оно устроено так, что в результате выводов из аксиом получаются лишь тождественно истинные формулы. Можно показать, что система логических аксиом может быть выбрана таким образом, что для любой тождественно истинной формулы всегда найдется цепочка выводов (логических рассуждений), с помощью которой она будет выведена из системы аксиом путем применения правил подстановки и заключения. Другими словами, может быть построена полная система аксиом, из которой будут выводиться все тождественно истинные формулы и только они. Как показали исследования логиков, таких полных систем аксиом существует много. Система из четырех аксиом, которую мы только что рассмотрели является полной. Ее предложил известный немецкий математик и логик Д. Гильберт.

Подобное свойство исчисления высказываний позволяет достаточно легко ответить на кардинальный вопрос, возникающий для любой формальной системы: принадлежит ли некоторая правильная формула к множеству формул, выводимых в данной формальной системе? Для ответа на этот вопрос надо построить таблицу, в которой в левой части перечислены все возможные комбинации значений истинности и лжи для высказываний, входящих в эту формулу (легко видеть, что при n различных таких высказываниях число комбинаций будет равно 2^n), а в правой части выписаны значения истинности проверяемой формулы. Если правый столбец состоит только из значений «истина», то формула выводима в исчислении высказываний. В противном случае ее выводимость не имеет места.

Пусть, например, надо узнать, выводима ли в исчислении высказываний формула $((\neg \alpha \rightarrow \alpha) \rightarrow \alpha)$. В эту формулу входит одно высказывание α . Поэтому нужно проверить лишь две комбинации истинности: когда α истинно и когда оно ложно. В первом случае по свойству импликации первая скобка является истинной, ибо $\neg \alpha$ ложно. Но тогда истинна и вся формула, ибо импликация истинна, когда истинны ее левая и правая части. Если же α ложно, то первая скобка является ложной, так как левая часть импликации $(\neg \alpha \rightarrow \alpha)$ истинна, а правая ложна. Но тогда вся формула является истинной. Тем самым доказано, что интересующая нас формула является тождественно истинной и, следовательно, выводимой в исчислении высказываний.

О чем все это говорит? Прежде всего о том, что процедура выводимости в исчислении высказываний конструктивно разрешима. Проверка общезначимости (тождественной истинности) формулы сводится к построению нужной конечной таблицы

и перебору всех вариантов, содержащихся в ее левой части, с целью определения истинностного значения проверяемой формулы. Получение первого значения «ложь» свидетельствует о невыводимости. Если же при всех комбинациях, перечисленных в левой части таблицы, формула принимает значение «истина», то она выводима с помощью описанных выше двух правил вывода из той или иной полной системы абсолютных аксиом.

Проиллюстрируем эту процедуру еще на одном примере. Проверим, является ли выводимой формула $((\alpha \vee \beta) \rightarrow ((\neg \alpha \vee \gamma) \& \beta))$. В этой формуле (будем обозначать ее f) имеется три высказывания, что приводит к необходимости рассмотрения истинного значения f на $2^3 = 8$ комбинациях. Эти комбинации и соответствующие шаги по определению истинностного значения f на них даны в табл. 3, в которой И и Л означают соответственно значения «истина» и «ложь».

Таблица 3

α	β	γ	$\neg \alpha$	$(\alpha \vee \beta)$	$(\neg \alpha \vee \gamma)$	$((\neg \alpha \vee \gamma) \& \beta)$	f
Л	Л	Л	И	Л	И	Л	И
Л	Л	И	И	Л	И	Л	И
Л	И	Л	И	И	И	И	И
Л	И	И	И	И	И	И	И
И	Л	Л	Л	И	Л	Л	Л
И	Л	И	Л	И	И	Л	Л
И	И	Л	Л	И	Л	Л	Л
И	И	И	Л	И	И	И	И

Появление в пятой строке в столбце f значения Л свидетельствует о невыводимости исследуемой формулы. На этом шаге процесс вывода можно прекратить. Остальные строки в таблице приведены лишь для полноты картины.

«Логик-теоретик»

Так была названа программа для ЭВМ, созданная в середине шестидесятых годов американским кибернетиком А. Ньюэллом в содружестве с психологом Г. Саймоном. Она была предназначена для доказательства теорем в исчислении высказываний, т. е. для поиска обоснования тождественной истинности некоторых утверждений. Для того чтобы перейти к описанию программы «Логик-теоретик», введем предварительно понятие о равенстве двух выражений исчисления высказываний. Будем говорить, что выражения f_1 и f_2 равны между собой, и записывать этот факт обычным образом $f_1 = f_2$, если на всех возможных наборах интерпретации истинности входящих в них элементарных высказываний истинность f_1 и f_2 одинакова.

Появление знака равенства, которого не было в исчислении высказываний, не должно нас смущать. Его легко можно исключить из рассмотрения, введя формулу $((f_1 \& f_2) \vee (\neg f_1 \& \neg f_2))$. Читатели могут проверить, что эта формула будет истинной только в том случае, когда оценки истинности f_1 и f_2 одинаковы. Тогда утверждение, что $f_1 = f_2$, становится эквивалентным утверждению, что формула $((f_1 \& f_2) \vee (\neg f_1 \& \neg f_2))$ является истинной.

«Логик-теоретик» должен был доказывать справедливость утверждений вида $f_1 = f_2$ для различных f_1 и f_2 . Однако авторы «Логика-теоретика» не пошли по прямому пути. Не стали строить таблицы для f_1 и f_2 и проверять совпадение истинности f_1 и f_2 на всех возможных интерпретациях истинности их аргументов. Ведь с ростом числа аргументов n число строк в этих таблицах растет как 2^n . А. Ньюэлл и Г. Саймон пошли по пути приближения процедуры доказательства к тому, как это делают люди.

В основу процесса доказательства они положили идею ликвидации различий в формульной записи f_1 и f_2 . Авторы программы составили перечень из шести различий.

1. В f_1 и f_2 различное число членов в формулах. Например, $f_1 = \alpha \vee \alpha\beta$, а $f_2 = \alpha \vee \beta^*$.

2. В f_1 и f_2 имеется различие в основной связке (т. е. в связке, которая выполняется последней). Например, $f_1 = (\alpha\beta) \vee (\alpha\bar{\beta})$, а $f_2 = (\alpha \vee \beta) \rightarrow \alpha$.

3. Перед всем выражением для $f_1(f_2)$ стоит знак отрицания, а перед $f_2(f_1)$ его нет. Например, $f_1 = \neg(\alpha \vee \beta)$, а $f_2 = \alpha\beta$.

4. Аналогичное различие, но оно касается не всего выражения для f_i ($i=1,2$), а некоторого его подвыражения.

5. Скобки в f_1 расставлены не так, как в f_2 . Например, $f_1 = \alpha \rightarrow (\beta \vee \gamma)$, а $f_2 = (\alpha \rightarrow \beta) \vee \gamma$.

6. Записи для f_1 и f_2 отличаются порядком следования подвыражений. Например, $f_1 = (\alpha\beta) \vee \gamma$, а $f_2 = \gamma \vee (\alpha\beta)$.

Для того чтобы иметь возможность ликвидировать подобные различия, используются 12 преобразований формул исчисления высказываний. Первые семь преобразований носят тождественный характер, т. е. не меняют истинного значения преобразуемых формул. Последние пять верны только при условии, что левая часть их является тождественно истинной (T -выражением).

$$F1: A \& B \Leftrightarrow B \& A;$$

$$A \vee B \Leftrightarrow B \vee A;$$

$$F2: A \rightarrow B \Leftrightarrow \neg B \rightarrow \neg A;$$

$$F3: A \& A \Leftrightarrow A;$$

$$A \vee A \Leftrightarrow A;$$

* Для более компактной записи формул будем писать $\bar{\alpha}$ вместо $\neg \alpha$ и опускать знак конъюнкции там, где это не мешает однозначному пониманию формулы.

- $F4: A \& (B \& C) \Leftrightarrow (A \& B) \& C;$
 $A \vee (B \vee C) \Leftrightarrow (A \vee B) \vee C;$
 $F5: A \vee B \Leftrightarrow \neg(\neg A \& \neg B);$
 $F6: A \rightarrow B \Leftrightarrow \neg A \vee B;$
 $F7: A \& (B \vee C) \Leftrightarrow (A \& B) \vee (A \& C);$
 $A \vee (B \& C) \Leftrightarrow (A \vee B) \& (A \vee C);$
 $(A \& \neg A) \vee B \Leftrightarrow B;$
 $(A \vee \neg A) \& B \Leftrightarrow B;$
 $F8: A \& B \Rightarrow A; \left. \begin{array}{l} A \& B \Rightarrow B; \end{array} \right\} A \& B \text{ — } T\text{-выражение};$
 $F9: A \Rightarrow A \vee B; A \text{ — } T\text{-выражение};$
 $F10: \left(\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \right) \Rightarrow A \& B; A, B \text{ — } T\text{-выражения};$
 $F11: \left(\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \right) \Rightarrow B; A, A \rightarrow B \text{ — } T\text{-выражения. Это преобразование есть}$

модус поненс;

 $F12: \left(\begin{array}{c} A \rightarrow B \\ B \rightarrow C \end{array} \right) \Rightarrow A \rightarrow C; A \rightarrow B \text{ и } B \rightarrow C \text{ — } T\text{-выражения.}$

В преобразованиях использованы большие латинские буквы, которые могут соответствовать любым подвыражениям формул f_1 и f_2 . Стрелки \Rightarrow и \Leftrightarrow показывают направление преобразований. (Знак \Rightarrow есть по сути знак \vdash .)

С помощью этих преобразований можно устранять различия между f_1 и f_2 , которые мы перечислили выше. Укажем в специальной табл. 4 классы преобразований F_i , которые можно использовать для устранения различий. Первое различие разделено на два: различие $1'$ требует добавления выражений в формулу, а различие $1''$ — вычеркивания из формулы лишних выражений.

Таблица 4

Различие	Класс преобразования											
	$F1$	$F2$	$F3$	$F4$	$F5$	$F6$	$F7$	$F8$	$F9$	$F10$	$F11$	$F12$
$1'$			+				+		+	+	+	+
$1''$			+				+	+			+	+
2					+	+	+					
3					+							
4		+			+	+						
5				+			+					
6	+	+										

Крестики поставлены там, где можно устранить различие с помощью соответствующего преобразования.

Покажем работу программы «Логик-теоретик» на несложном примере. Пусть требуется доказать равенство $f_1 = f_2$, имеющее вид

$$AC \vee A\bar{C} \vee \bar{A}B = A \vee B.$$

Применим к f_1 первое преобразование из $F7$ справа налево. Выбор $F7$ определяется различием f_1 и f_2 . Из f_1 необходимо убрать лишнее подвыражение C , которого нет в f_2 . После этого получим

$$A(C \vee \bar{C}) \vee \bar{A}B = A \vee B.$$

Поскольку в f_1 осталось еще выражение C , которого нет справа, то снова фиксируется различие $1''$ и ищется подходящее преобразование. Таким преобразованием является четвертое из $F7$. Но для его применения надо сначала использовать преобразование $F1$ для устранения различия 6 . После этого, применяя четвертое преобразование из $F7$, получаем

$$A \vee \bar{A}B = A \vee B.$$

Теперь можно применить второе преобразование из $F7$:

$$(A \vee \bar{A})(A \vee B) = A \vee B.$$

Четвертое преобразование из $F7$ приводит к окончательному результату

$$A \vee B = A \vee B.$$

Пример, конечно, не отражает всех особенностей работы программы «Логик-теоретик». Мы несколько упростили задачу. Как видно из таблицы различий, выбор преобразования на каждом шаге далеко не однозначен. В формулах могут существовать одновременно несколько различий, а для ликвидации различия можно использовать несколько преобразований. Всякий вывод, как бы он не был организован, носит переборный характер. И успешность того или иного выбора преобразования не может быть оценена локально, в момент выбора. Поэтому программа вынуждена перебирать варианты, заходить в тупики, проходить циклы прежде, чем она сможет найти правильный путь решения. Повышение эффективности процесса вывода — центральная проблема всех автоматизированных систем дедуктивного вывода.

Исчисление предикатов

Исчисление высказываний не позволяет описывать дедуктивные рассуждения всех типов, в частности силлогистические умозаключения. Оно слишком бедно выразительными средствами.

Его естественным развитием является исчисление предикатов. Как и исчисление высказываний, исчисление предикатов представляет собой формальную систему. Мы не будем описывать его в такой строгой форме (любители строгости могут найти подобные описания в литературе к данному разделу), а попытаемся оставаться на содержательном уровне описания.

Под предикатом будем понимать некоторую связь, заданную на наборе из констант или переменных, например утверждение

« v больше w ». Если семантика v и w не задана, то о предикате сказать особенно нечего. Пожалуй, только то, что он задает двуместное отношение, семантика которого такова, что оно является антирефлексивным (неверно, что « v больше v »), асимметричным и транзитивным. Но при задании семантики (т. е. областей определения переменных v и w) о предикате можно будет сказать существенно больше. Если v и w — площади городов соответственно в СССР и Японии, то при задании списков городов и означивании переменных константами мы получим отношение между двумя высказываниями типа «Площадь Вологды больше площади Токио» или «Площадь Ленинграда больше площади Нары». После этого становится возможным говорить об истинности или ложности предиката. Для нашего примера первое означивание дает ложное значение предиката, а второе — истинное. Иногда для утверждения об истинности или ложности предиката можно обойтись и без означивания. Например, если областью определения x являются целые положительные числа, то предикат « x больше -5 » будет тождественно истинен.

В исчислении предикатов используются те же операции, что и в исчислении высказываний. С их помощью образуются предикатные формулы. Будем обозначать предикаты большими латинскими буквами. Примерами предикатных формул могут служить $P(x, y) \ \& \ Q(a, b)$ или $\neg P(w) \vee P(z, l)$.

В исчислении предикатов используются два квантора: *квантор общности* и *квантор существования*. Первый обозначается как \forall , а запись $\forall x P(x)$ эквивалентна утверждению «Для всех x из области его определения имеет место $P(x)$ ». Второй квантор обозначается как \exists , а запись $\exists x P(x)$ эквивалентна утверждению «Найдется по крайней мере один x^* в области определения x , такой, что истинен $P(x^*)$ ». Переменные, находящиеся в сфере действия кванторов, называются *связанными*, остальные переменные — *свободными*.

Вспомним И. А. Крылова: «А вы, друзья, как ни садитесь, все ж в музыканты не годитесь!». Обозначим через $P(x, y)$ предикат, который связывает между собой способ рассаживания участников квартета и качество исполняемой ими музыки. Предикат $P(x, y)$ становится истинным лишь тогда, когда найдено такое взаимное расположение зверей в квартете, что качество музыки позволяет назвать исполнителей музыкантами. При этих условиях цитата из басни «Квартет» соответствует формула $\forall x \neg P(x, y)$.

А вот Ф. Тютчев: «Бывают роковые дни лютейшего телесного недуга и страшных нравственных тревог ...». Если $Q(u, v)$ есть предикат, в котором переменная u определена на множестве дней, а переменная v на области настроений, связанных с «телесным недугом» и «страшными нравственными тревогами», то в

исчислении предикатов началу стихотворения Тютчева будет соответствовать формула $\exists u Q(u, v)$.

Отметим, что имеют место следующие соотношения:

$$\neg \forall x P(x) = \exists x \neg P(x); \quad \neg \exists x P(x) = \forall x \neg P(x).$$

Справедливость их вытекает из смысла кванторов. Они позволяют любую формулу в исчислении предикатов представить в виде предваренной нормальной формы (ПНФ). В ней сначала записываются все кванторы, а затем предикатные выражения. Например, формула

$$\forall x \forall y \exists z [P(x) \rightarrow Q(y, z, w)]$$

записана в ПНФ.

Введение кванторов \forall и \exists , а также их отрицаний наводит на мысль о связи исчисления предикатов и силлогистики Аристотеля. Вспомним еще раз смысл кванторов, использованных в силлогистике: Asp — «Всякое s есть p »; Esp — «Ни одно s не есть p », Isp — «Некоторые s есть p » и Osp — «Некоторые s не есть p ». Представляется вполне справедливым заменить эти выражения силлогистики следующими четырьмя формулами исчисления предикатов:

$$\begin{aligned} &\forall x (s(x) \rightarrow p(x)); \quad \forall x (s(x) \rightarrow \neg p(x)); \\ &\exists x (s(x) \& p(x)); \quad \exists x (s(x) \& \neg p(x)). \end{aligned}$$

На первый взгляд такая замена вполне законна. Но для того, чтобы убедиться в этом, необходимо показать, что в исчислении предикатов могут быть выведены все модусы силлогистики Аристотеля.

Система аксиом и правила вывода в исчислении предикатов могут быть заданы следующим образом. В качестве системы аксиом берется любая известная система аксиом исчисления высказываний и к ней добавляются специфические для исчисления предикатов аксиомы, например, такие:

$$\begin{aligned} &\forall x P(x) \rightarrow P(y); \\ &P(y) \rightarrow \exists x P(x). \end{aligned}$$

Смысл их очевиден. Первая аксиома говорит о том, что если $P(x)$ истинен для любых x , то и для некоторого y из того же универсума истинность предиката должна сохраняться. Вторая аксиома говорит о том, что если найдется такое y , что $P(y)$ будет истинным, то верно, что существует x , для которого $P(x)$ истинно.

К правилам вывода, используемым в исчислении высказываний, в исчислении предикатов добавляются еще три правила.

1. Пусть F_1 и F_2 — две формулы исчисления предикатов. И пусть в F_1 переменная x не входит, а в F_2 входит в качестве свободной переменной. Пусть, наконец, формула $F_1 \rightarrow F_2$ является выводимой. Тогда выводима и формула $F_1 \rightarrow \forall x F_2$.

2. Если x содержится в качестве свободной переменной в F_1 и не содержится в таком виде в F_2 и если $F_1 \rightarrow F_2$ — выводимая формула, то $\exists x F_1 \rightarrow F_2$ также является выводимой.

3. Если F — выводимая формула и в F есть кванторы общности и существования, то любая из связанных ими переменных может быть заменена на другую связанную переменную одновременно во всех областях действий квантора и в самом кванторе. Полученная после этого формула также является выводимой.

Использование такой системы аксиом и такого множества правил вывода позволяет в исчислении предикатов из тождественно истинных формул получать тождественно истинные.

Вернемся теперь к попытке вложения силлогистических утверждений в исчисление предикатов. Исследование выводимости 24 модусов, верных в силлогистике Аристотеля, в исчислении предикатов привело к следующему результату. Если предполагать, что все классы сущностей непусты, т. е. рассуждения не касаются мыслимых сущностей (например, драконов или русалок), то приведенная выше замена силлогистических выражений выражениями логики предикатов будет полностью справедлива. Другими словами, при непустых классах сущностей все модусы силлогистики Аристотеля выводятся в исчислении предикатов.

Иная ситуация возникает при допущении пустых классов сущностей. В исчислении предикатов предикаты с пустыми областями для аргументов ведут себя совсем не так, как такие же предикаты с непустыми областями. В этих условиях оказываются невыводимыми все модусы силлогистики, в которых вывод носит частный характер, а обе посылки носят общий характер. Например, оказываются невыводимыми модусы AAI и EAO первой фигуры:

$$A \quad \forall x(m(x) \rightarrow s(x))$$

$$A \quad \forall x(m(x) \rightarrow p(x))$$

$$I \quad \frac{}{\exists x(s(x) \& p(x))} ,$$

$$E \quad \forall x(p(x) \rightarrow \neg m(x))$$

$$A \quad \forall x(m(x) \rightarrow s(x))$$

$$O \quad \frac{}{\exists x(s(x) \& \neg p(x))} .$$

Хотелось бы обратить внимание читателей на только что полученный результат моделирования. Даже в области дедуктивных рассуждений, дающих всегда достоверные результаты, характер человеческих рассуждений может быть различным. И он не обязан совпадать (как это показывает случай с силлогистикой) с теми схемами рассуждений, которые демонстрирует исчисление предикатов.

Общая схема вывода

Опишем общую схему выводов, лежащую в основе большого количества моделей человеческих достоверных рассуждений. Она приведена на рис. 19. Обратим сначала внимание на рис. 19, а. На нем показано некоторое *дерево вывода*. Вершинам этого дерева соответствуют определенные утверждения F_i , а дуги определяют порядок получения новых утверждений. Те дуги, которые сходятся в зачерненные точки, образуют *конъюнктивные условия вывода*, а те дуги, которые между собой соединены «дужкой», образуют *дизъюнктивные условия вывода*. Например, получение утверждения F_9 возможно двумя путями. Если доказаны утверж-

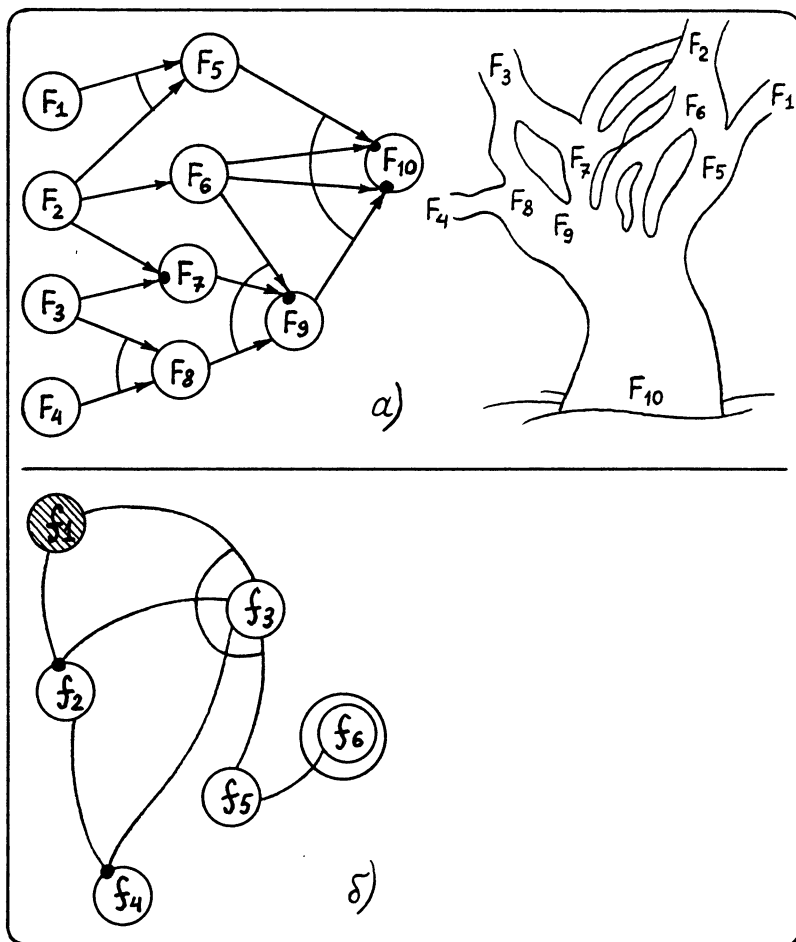


Рис. 19

дения F_2 и F_3 , то F_7 следует из их доказанности, F_6 из доказанности F_2 и F_9 из доказанности F_6 и F_7 . Другой путь доказательства F_9 вытекает из априорной доказанности F_3 или F_4 . Любого из этих фактов достаточно для вывода F_8 , который обеспечивает выводимость F_9 .

Дерево вывода с такими условиями переходов от вершины к вершине носит название *И-ИЛИ дерева*. В И-ИЛИ дереве ориентация дуг показывает направление вывода. Естественное разбиение вершин дерева по ярусам отражает глубину вывода (число шагов, необходимых для получения утверждений данного яруса). Первый ярус дерева образуют вершины (на рис. 19, *а* это вершины F_1, F_2, F_3, F_4), играющие роль аксиом или утверждений, истинности которых задается извне.

Схема вывода не обязательно описывается в виде дерева. Она может иметь вид произвольной сети, ориентированной, неориентированной или частично ориентированной. На рис. 19, *б* показан пример неориентированной сети. Такая сеть (наличие или отсутствие ориентации не играет здесь роли) называется *И-ИЛИ сетью*. Процесс вывода на И-ИЛИ сети протекает следующим образом. Пусть мы хотим доказать утверждение f_6 (на рис. 19, *б* этому соответствует *целевая вершина*). В качестве априорно доказанного задано утверждение f_1 (ему соответствует начальная вершина, которая на рис. 19, *б* заштрихована). Как из f_1 можно получить f_6 ? Если считать, что все связи допускают ориентацию в нужную сторону, то из f_1 можно получить f_3 , затем f_5 и, наконец, f_6 . Но этот путь нам удалось отыскать потому, что сеть, показанную на рис. 19, *б*, мы видим «с птичьего полета». Лабиринт поиска лежит в виде чертежа перед нами. Именно это позволяет нам не делать лишних попыток, не двигаться в ненужную сторону, а идти кратчайшим путем к цели.

Подобная ситуация приятна, но редко встречается в действительности. При решении любой задачи, даже если заранее известен ее ответ, к которому надо стремиться (для школьника эта ситуация с подглядыванием в ответ до решения задачи весьма типична), мы не видим перед собой полного лабиринта возможностей. Мы пытаемся построить этот лабиринт, видя лишь начальные «площадки лабиринта» и не зная, что лежит между ними и «целевыми площадками». В нашем примере мы стоим на начальной площадке, в вершине f_1 , и не знаем, куда идти. Мы делаем попытку перейти в f_2 (т. е. вывести утверждение), но видим, что этого нельзя сделать. Тогда мы движемся в сторону утверждения f_3 и обнаруживаем, что его доказательство возможно. Теперь в нашем распоряжении две площадки лабиринта: f_1 и f_3 . Из f_3 можно двигаться в четырех направлениях. Одно из них, ведущее назад к f_1 , интереса не представляет. Попытка продвигнуться к f_2 и f_5 оказывается успешной. Возникает новый фронт достигнутых площадок (доказанных утверждений). Теперь его об-

разуют f_2 , f_3 и f_5 . Площадка f_1 исключается из активного фронта, так как использованы все связи этой площадки с другими площадками лабиринта. На следующем шаге достигаются площадки f_4 и f_6 . Наличие среди доказанных выражений целевого f_6 позволяет завершить процесс доказательства. После этого можно произвести «чистку», в результате которой останется лишь тот путь, который кратчайшим образом приводит от начального утверждения f_1 к целевому f_6 .

На примере мы описали процедуру, которая, как легко видеть, носит универсальный характер и пригодна для поиска пути вывода в лабиринтах произвольного типа. Эта процедура известна среди специалистов под названием *метода прямой волны*. Волна поиска путей к целевой площадке распространяется от всех площадок, играющих роль начальных.

Возможен и другой способ поиска доказательства. Он носит название *метода обратной волны*. В этом методе волна начинает свое движение от целевых площадок и движется в направлении начальных площадок лабиринта. Для нашего случая на первом шаге была бы порождена площадка, соответствующая f_5 , вслед за этим f_3 и f_1 . На этом движение волны прекратилось бы, так как ее фронт достиг всех (в данном случае единственной f_1) начальных площадок.

Различие между прямой и обратной волной состоит в том, что они порождают в процессе своего движения различные промежуточные «фронты» площадок, что приводит к различному числу шагов при поиске. Часто используется смешанный метод вывода, при котором одновременно движутся прямая и обратная волны. При встрече этих волн формируется путь вывода от начальных аксиом к целевым выражениям.

Несколько иной разновидностью схем вывода являются так называемые *альтернативные деревья* или *альтернативные сети*. В этих схемах выбор дальнейшего пути движения зависит от того, достигнут или не достигнут вывод некоторого выражения. Другими словами, попытки продвижения по лабиринту, которые мы демонстрировали на методе прямой волны при удачах и неудачах, могут влиять на стратегию дальнейшего движения. Такие схемы вывода мы более подробно рассмотрим в пятой главе. Здесь же лишь проиллюстрируем рассуждение такого типа на примере.

В знаменитом рассказе «Убийство на улице Морг» Эдгара По сыщик-любитель Огюст Дюпен помещает в газете объявление о находке орангутанга, который, по слухам, принадлежит матросу мальтийского корабля. На вопрос о причинах такого объявления Огюст Дюпен отвечает следующим образом:

«Но вот обрывок ленты, посмотрите, как она засалена, да и с виду напоминает те, какими матросы завязывают волосы... К тому же таким узлом мог завязать ее только моряк, скорее всего мальтиец. Я нашел эту ленту под громом отводом. Вряд ли она принадлежала одной из убитых женщин. Но даже если я

ошибаюсь и хозяин ленты не мальтийский моряк, то нет большой беды в том, что я сослался на это в моём объявлении. Если я ошибся, матрос подумает, что кто-то ввел меня в заблуждение, и особенно задумываться тут не станет. Если же я прав,— это козырь в моих руках. Как очевидец, хоть и не соучастник убийства, француз, конечно, не раз подумает, прежде чем пойти по объявлению. Но вот он станет рассуждать: „Я не виноват, к тому же я человек бедный; орангутанг и вообще-то в большой цене, а для меня это целое состояние, зачем же терять его из-за пустой мнительности. Вот он, рядом, только руку протянуть. Его нашли в Булонском лесу, далеко от места, где произошло убийство. Никому в голову не придет, что такие страсти мог натворить дикий зверь. Полиции век не догадаться, как это случилось. Но хотя бы обезьяну и выследили — попробуй докажи, что я что-то знаю; а хоть бы и знал, я не виноват. Главное, кому-то я уже известен. В объявлении меня так и называют владельцем этой твари. Кто знает, что этому человеку еще про меня порассказали. Если я не приду за моей собственностью, а ведь она больших денег стоит, да известно, что хозяин — я, на обезьяну падет подозрение. А мне ни к чему навлекать подозрение, что на себя, что на эту бестию. Лучше уж явлюсь по объявлению, заберу орангутанга и спрячу, пока все не порастет травой“ >>.

Читателю предлагается построить по этому тексту альтернативное дерево рассуждений владельца орангутанга.

И последнее замечание к тексту этой главы. Конечно, не надо считать дедуктивные схемы рассуждений панацеей для всех случаев. Метод, обычно приписываемый Шерлоку Холмсу, не всегда ведет к успеху.

Для многих читателей имя Шерлока Холмса навсегда связано с изяществом и неоспоримостью дедуктивного метода рассуждений. Но при внимательном чтении произведений Конан-Дойля легко обнаружить, что знаменитый сыщик пользовался не только дедуктивными рассуждениями. Шерлок Холмс никогда не забывал и об индукции.

Всякое порождение новой версии — это индуктивный шаг. Дедукцией является лишь обоснование выдвинутой версии. А выдвижение новых версий тесно связано с переходом от некоторых частных фактов к общим утверждениям относительно их, т. е. с правдоподобными рассуждениями. И настало время перейти к их обсуждению.

Глава четвертая.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРАВДОПОДОБНЫХ РАССУЖДЕНИЙ

Я гнет бездарности ташу
сквозь мир красот и безобразий.
Всегда, везде, во всем ищу
причинно-следственные связи.

С. А. Стебаков

От Аристотеля до Бэкона

Аристотель упоминал о двух основных процессах рассуждений: нисходящем или дедуктивном и восходящем или индуктивном. Иногда говорят, что дедукция — это рассуждение «от общего к частному», а индукция — «от частного к общему». При таком понимании этих двух процессов возникает иллюзия, что они как будто обратны друг другу и одну схему рассуждений можно получить из другой прямым обращением. Этой иллюзии поддался и Аристотель. Увлеченный красотой и стройностью воздвигнутого им здания силлогистики, он попытался втиснуть в его объемы и индуктивное рассуждение, ввести схему индуктивного силлогизма. Но здесь его подстерегала неудача. Индуктивные рассуждения никак не хотели отливаться в ту стройную форму, которая так подошла дедуктивным рассуждениям.

Попытки адептов учения Аристотеля исправить, уточнить, расширить понятие индуктивного силлогизма остались тщетными. В основе различия дедукции и индукции лежало нечто более существенное, чем думали мыслители, не желавшие выходить за рамки мира, очерченного рукой гениального Аристотеля.

Напомним еще раз основную цель, которую преследовал Аристотель, создавая силлогистику. Она должна была стать непобедимым оружием в споре. Если оппонент признавал общее положение, относящееся к классу однородных объектов или явлений (а как он мог не признать, например, столь очевидную истину, что «Все люди смертны»), и принадлежность какого-либо объекта или явления к этому классу (например, что «Сократ есть человек»), то ему ничего не оставалось сделать, как признать, что общий для всего класса признак переносится и на отдельный элемент этого класса. Возражать против такого хода рассуждений мог бы только человек, спорить с которым не имеет никакого смысла, ибо он отвергает очевидное.

Если бы аналогичная цель стояла перед спорящим, который пользуется методом индукции, то схема его рассуждений должна была быть следующей. Сначала он мог бы сообщить оппоненту несколько утверждений об отдельных представителях класса, в существование которого должны верить оба спорящих. Каждое такое утверждение должно касаться одного и того же признака, связанного с элементами этого класса (например, оппоненту надо

было сообщить, что «Гомер смертен», «Фидий смертен», «Эзоп смертен», и добиться от оппонента признания правильности этих утверждений). После этого надо было прийти с противником к согласию, что все эти элементы принадлежат одному классу (в нашем примере, что Гомер, Фидий и Эзоп являются людьми). Далее нужно было совершить главный индуктивный шаг, перейти к утверждению о классе (т. е. ввести утверждение «Все люди смертны») и заставить противника принять это утверждение.

Трудность таится именно на последнем шаге спора. Примет или не примет этот шаг оппонент, зависит от степени его уверенности в правильности данного шага. Этот шаг требует не умения логически обосновывать свои действия и рассуждения, а веры в свою справедливость. Можно ли от трех конкретных утверждений о Гомере, Фидии и Эзопе перейти к общему утверждению о всех людях? Ответ на этот вопрос не снимается, если мы к названным трем великим представителям греческой культуры добавим еще кого-нибудь. Где граница, после которой индуктивный шаг станет оправданным? Ответа на этот вопрос нет и быть не может. Именно поэтому *индуктивное умозаключение* всегда является *правдоподобным рассуждением*. Его надо принимать на веру. И обсуждать можно только то, как оценить обоснованность этой веры, т. е. как оценить степень правдоподобности выведенного утверждения.

Мы получили весьма важный вывод о том, что каждое правдоподобное утверждение A должно сопровождаться некоторой *оценкой правдоподобности (достоверности) $Q(A)$* . Интерпретация $Q(A)$ может быть различной. Некоторые из них, сейчас наиболее распространенные, будут обсуждены в последующих разделах этой главы.

Подчеркнем еще раз принципиальное различие между дедуктивной и индуктивной схемами рассуждений. Если посылки в дедуктивной схеме выбраны правильно, являются истинными, то получаемые с их помощью заключения не могут быть ложными. Если они нас чем-то поражают, вызывают недоумение, то надо еще раз проверить истинность посылок. Убедившись в их правоте, ничего не остается делать, как полностью принять следующие из них выводы. Если посылки в индуктивной схеме выбраны правильно, являются истинными, то получаемые с их помощью заключения могут быть как истинными, так и ложными. Та или иная точка зрения на заключения зависит от степени субъективной уверенности в достаточности посылок для получения заключения. Именно поэтому вместо оценки истинности или ложности заключения в правдоподобных рассуждениях используется оценка правдоподобности (или истинности) $Q(A)$.

Известный специалист по психологии восприятия Р. Грегори писал:

«В самой природе дедуктивных утверждений содержится нечто в высшей степени странное. Дедукция оперирует формальным символическим алфавитом. Мы вправе сказать, что дедукция небиологична, поскольку ее не могло быть до появления формального языка. В связи с этим чрезвычайно заманчива мысль об *индуктивной* природе процесса решения проблем, который сопровождает работу воспринимающего мозга, и о переходе к *дедукции* в работе мозга, занятого абстрактным мышлением, передачей сообщений, выполнением расчетов. Если это верно, то дедукция окажется свойственной только мозгу человека, поскольку лишь человек обладает формальной речью. Но это можно отнести также к электронным вычислительным машинам, работа которых подчинена правилам некоторого формального языка. ...По-видимому, можно утверждать, что — поскольку в отличие от владения формальной речью восприятие не является исключительной привилегией человека — *перцептивные процессы в своей сущности не дедуктивны. Остается принять, что они индуктивны*».

Таким образом, индукция тесно связана с восприятием, опытом. Когда в развитии научного мировоззрения возник этап понимания, что опытные данные, эксперимент, реальная деятельность по достижении определенных целей служат единственным мерилom обоснования научных построений, тогда наступила пора индукции.

Понимание роли индуктивных рассуждений в научном познании связано с именем двух людей, носивших одинаковую фамилию. Один из них Роджер Бэкон был францисканским монахом и выдающимся мыслителем. С целью прославления церкви и воплощения своей мечты о том, что католическая церковь должна царить над всем миром, этот монах в 1265 году посвятил папе Клименту IV свою работу, где сделал набросок новой экспериментальной науки, которая должна была дать в руки человечества инструмент к познанию природы и роли высшего разума в ее существовании. Только через опыт возможно постижение истины — к такому выводу пришел Роджер Бэкон. И, критикуя метод Аристотеля, он писал: «Было бы лучше сжечь сочинения Аристотеля и начать все сызнова, нежели принимать его заключения без проверки».

Но францисканец поспешил. В XIII веке схоластическая наука еще не собиралась сдавать свои позиции. Аристотель считался вершиной научной мысли. И надо было дожидаться XVII века, когда человек, обладавший большой политической властью и непревзойденным красноречием, лорд Веруламский Фрэнсис Бэкон опубликует свой труд под красноречивым и недвусмысленным названием *Novum Organum**. В этой работе философ обратил внимание ученых на важность экспериментального метода в науке. Мысль о том, что всякое научное положение, полученное в тео-

* Т. е. «Новый Органон» с прямым намеком на сочинение Аристотеля «Органон».

рии, должно подтверждаться практикой, сформулирована им четко и исчерпывающе. Фрэнсису Бэкону повезло куда больше, чем его однофамильцу. Он высказал свои мысли в нужное время, когда экспериментальная наука начала победное шествие по миру. И за это он стал признанным отцом нового направления в научном познании.

Но если внимательно разобраться в сочинениях Фрэнсиса Бэкона, то в них вряд ли удастся обнаружить пропагандируемый им метод индуктивного развития науки. Ничего подобного силлогистике Аристотеля у него нет. А поэтому вплоть до середины XIX века в области индуктивных рассуждений ничего не менялось. Их теории просто не существовало.

Индукция Джона Стюарта Милля

В процессе наблюдения за окружающим миром мы решаем две главные задачи, связанные с созданием модели, его описывающей. Прежде всего мы выделяем в наблюдаемом некоторые сущности. В логике им соответствуют некоторые понятия. А кроме того, мы устанавливаем между этими понятиями определенные отношения. Эти отношения могут быть как наблюдаемыми непосредственно с помощью наших органов чувств (например, отношения типа «субъект-действие» или «быть раньше»), так и достраиваемыми на основании некоторой «логики знаний» (например, отношения типа «причина — следствие» или «цель — средство»).

Среди всех этих отношений едва ли не главнейшую роль для познания окружающего мира играют *каузальные отношения*, отражающие в наиболее общей форме связи причин и следствий. Подробный разговор о каузальных связях мы отложим до конца этой главы. А пока поговорим лишь о том их виде, внимание к которому привлекли исследования английского логика середины XIX века Джона Стюарта Милля. Он поставил перед собой задачу нахождения связей между фактами и явлениями на основе анализа их совместного появления или непоявления в последовательности экспериментов. При этом он принял меры к тому, чтобы не повторять знаменитой ошибки при установлении *причинно-следственных* связей, которая вошла в историю науки под названием *Post hoc ergo propter hoc*, т. е. «После этого, значит вследствие этого». А ошибки такого типа не только встречались и встречаются в бытовых человеческих рассуждениях до сих пор, но иногда подобные выводы делаются сознательно, например, для создания неожиданных поэтических образов. Вот как превосходно использовал этот прием В. Луговской: «Речные девки в речках мочут косы, и над Русью от этого подымется туман».

Принципы установления причинно-следственных отношений, которые предложил Милль, основываются на идеях выделения сходства и различия в наблюдаемых ситуациях внешнего мира.

Способность улавливать сходство и выделять различия — фундаментальная способность, по-видимому, всех живых существ. Опираясь на эту способность, Милль сформулировал свои принципы индукции.

Первым из них является *Принцип единственного различия*. В формулировке, которая дана в известном учебнике логики В. Минто, он звучит следующим образом: «Если после введения какого-либо фактора появляется, или после удаления его исчезает, известное явление, причем мы не вводим и не удаляем никакого другого обстоятельства, которое могло бы иметь в данном случае влияние, и не производим никакого изменения среди первоначальных условий явления, то указанный фактор и составляет причину явления».

Схематически этот принцип можно описать в виде следующей схемы:

$$\begin{array}{l}
 n \left\{ \begin{array}{l} a, b, c \Rightarrow d, \\ a, b, c \Rightarrow d, \\ a, b, c \Rightarrow d, \end{array} \right. \\
 \\
 n \left\{ \begin{array}{l} b, c \not\Rightarrow d, \\ b, c \not\Rightarrow d, \\ b, c \not\Rightarrow d, \\ a, b, c \Rightarrow d. \end{array} \right.
 \end{array}$$

Здесь знак \Rightarrow трактуется лишь как появление d при наличии a, b и c , а $\not\Rightarrow$ означает, что d не появляется. Повторение ситуаций n раз необходимо для того, чтобы убедиться в устойчивости всей ситуации в целом, для исключения случая, когда d появляется случайным образом, не будучи никак связанным с a . Если n , с точки зрения экспериментатора, достаточно для уверенного вывода, то, используя Принцип единственного различия, можно утверждать, что a является причиной, а d следствием, т. е. что между a и d имеет место причинно-следственное отношение. В дальнейшем будем называть реализации $a, b, c \Rightarrow d$ *положительными примерами* для d , а реализации $b, c \not\Rightarrow d$ — *отрицательными примерами* для d или *контрпримерами*.

Второй основополагающий принцип индуктивного рассуждения Милля носит название *Принципа единственного сходства*. В формулировке того же В. Минто он звучит следующим образом: «Если все обстоятельства явления, кроме одного, могут отсутствовать, не уничтожая этим явления, то это одно обстоятельство находится в отношении причинной связи с явлением при условии, что приняты были все меры к тому, чтобы никаких других обстоятельств, кроме принятых во внимание, налицо не оказалось».

Схематическое представление этого принципа Милля выглядит следующим образом:

$$\begin{array}{l}
 n \left\{ \begin{array}{l} a, b, c \Rightarrow d, \\ a, b, c \Rightarrow d, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ a, b, c \Rightarrow d, \end{array} \right. \\
 \\
 n \left\{ \begin{array}{l} a, b \Rightarrow d, \\ a, b \Rightarrow d, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ a, b \Rightarrow d, \end{array} \right. \\
 \\
 n \left\{ \begin{array}{l} a \Rightarrow d, \\ a \Rightarrow d, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ a \Rightarrow d. \end{array} \right.
 \end{array}$$

В этой схеме все примеры являются положительными. Из нее по Принципу единственного сходства вытекает, что a и d связаны причинно-следственным отношением.

Еще один принцип Милля — *Принцип единственного остатка*. Он формулируется В. Минто следующим образом: «Если вычесть из какого-либо явления ту часть его, которая согласно прежним исследованиям оказывается следствием известных причин, присутствующих в явлении причин, то остаток явления есть следствие остальных причин».

Принцип единственного остатка можно проиллюстрировать следующей схемой:

$$\begin{array}{l}
 n \left\{ \begin{array}{l} a, b, c \Rightarrow d, e, \\ a, b, c \Rightarrow d, e, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ a, b, c \Rightarrow d, e, \end{array} \right. \\
 \\
 n \left\{ \begin{array}{l} b, c \Rightarrow e, \\ b, c \Rightarrow e, \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ b, c \Rightarrow e. \end{array} \right.
 \end{array}$$

Следовательно, a и d связаны причинно-следственным отношением, а b и c являются возможными причинами e . Для дальнейшего уточнения зависимости надо посмотреть, приводит ли исключение b к появлению e . Если приводит, то отношением «причина — следствие» связаны между собой c и e . В противном случае это отношение имеется между b и e .

Отметим ряд особенностей схем Милля. Прежде всего они справедливы лишь при условии, что в описании ситуации имеется полное множество наблюдаемых фактов или явлений. Например, в последнем случае может оказаться, что и исключе-

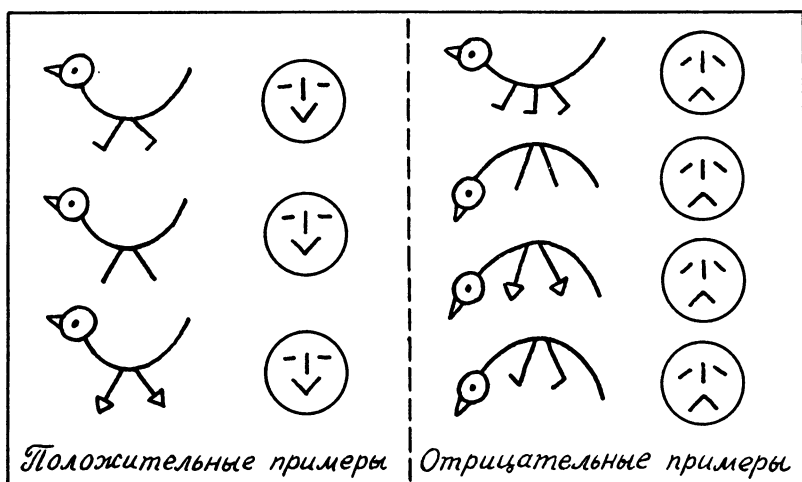


Рис. 20

ние b , и исключение c не влияют на появление e . Тогда можно предположить, что для появления e необходимо либо одновременное наличие b и c , либо e вызывается чем-то, не вошедшим в описание ситуации.

Другими словами, появление некоторого элемента ситуации может определяться не отдельными факторами или элементами, а их совокупностью, задаваемой с помощью сложного логического выражения. В левой части причинно-следственного отношения может стоять сложное выражение, в котором отдельные элементы могут быть связаны между собой конъюнктивными и (или) дизъюнктивными связками.

Проиллюстрируем это на следующих примерах. В качестве первого примера рассмотрим ситуации, показанные на рис. 20. С ними связана следующая история. Когда некий человек встречается на улице необычных зверюшек, то, глядя на них, он или радуется, или печалится. Нас интересует, какие качества зверюшек приводят человека в хорошее расположение духа. Другими словами, что является причиной его улыбки. Для удобства ответа на этот вопрос на рис. 20 положительные примеры и контрпримеры разделены штриховой чертой.

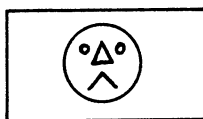
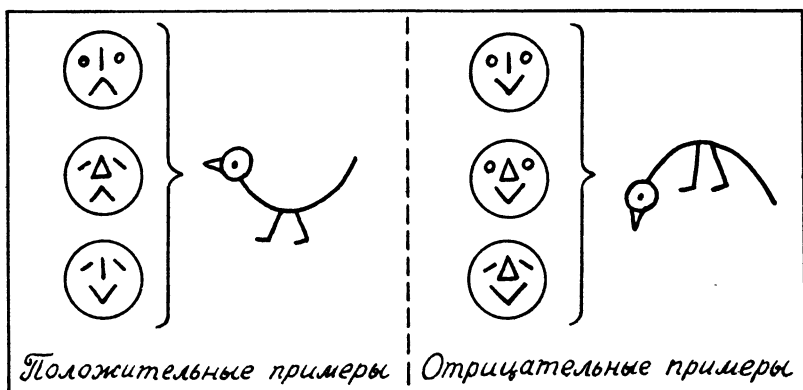
Как видно из рисунка, зверюшки обладают тремя признаками: формой спины, числом ног и формой ног. Что же вызывает улыбку? Используем метод Милля. Возьмем в качестве первой возможной причины форму спины у зверюшки. Положительные примеры таковы, что во всех наблюдаемых случаях эта форма выгнута вниз. Обозначим этот признак через a , а реакцию человека, когда он радуется, через d . Можно ли утверждать, что a есть причина d ? Согласно Принципу единствен-

ного сходства наличие спины такой формы должно всегда вызывать улыбку. Но первый же контрпример опровергает это. Число ног (обозначим этот признак как b) также не может быть причиной улыбки. В положительных примерах b везде равно двум, и можно подумать, что именно две ноги зверюшки веселят человека. Но в трех контрпримерах ног тоже две. С формой ног (этот признак обозначим как c) ситуация в положительных примерах такова, что сразу ясно, что c не может быть причиной d .

Таким образом, ни один из признаков зверюшки по отдельности не может быть причиной улыбки человека. Попробуем выделить *общее ядро сходства* у всех зверюшек в положительных примерах. Такое ядро есть. Все зверюшки в этих примерах имеют выгнутую вниз спину и две ноги. Другими словами, для них всегда истинно утверждение $P_1(a) \& P_2(b)$, в котором $P_1(a)$ — предикат, интерпретируемый как «форма спины, выгнутая вниз», а $P_2(b)$ — предикат, интерпретируемый как «число ног равно двум». Проверим, будет ли истинным выделенное ядро в отрицательных примерах. Простой проверкой убеждаемся, что оно везде ложно. Таким образом, причина улыбки человека найдена. Она возникает тогда и только тогда, когда встреченная им зверюшка имеет выгнутую вниз спину и две ноги.

Приведенный пример показывает, что при использовании методов индуктивных рассуждений, которые предложил Милль, весьма важную роль играет способ выделения признаков или фактов, с помощью которых описываются ситуации.

Еще один пример связан с ситуациями, показанными на рис. 21. Теперь нас беспокоит реакция зверюшки на тех людей, которых она встречает на улице. У зверюшки хорошее настроение, когда она встречает людей с выражением на лице, как в положительных примерах. И ее настроение становится плохим, когда ей встречаются люди с такими лицами, как на отрицательных примерах. Возникает вопрос о причине появления у зверюшки хорошего настроения при встрече с людьми. Три элемента лица: рот, нос и глаза, полностью характеризуют выражение человеческого лица. Будем обозначать эти признаки как e , f и g , а реакцию зверюшки как h . Поскольку все признаки принимают только два значения, как и реакция зверюшки, то можно (это можно было сделать и в предыдущем примере, но было желание продемонстрировать общий подход, использующий запись в виде предикатных формул) обойтись формулами исчисления высказываний. Будем считать, что e , f и g истинны, если они соответствуют типу рта, носа и глаз человека из первого положительного примера. Будем также считать истинным значение h , соответствующее зверюшке с хорошим настроением. Если выделить ядро сходства у положительных примеров, то оно окажется пустым. Это свидетельствует о том, что причиной



Контрольный
пример

Рис. 21

хорошего настроения зверюшки не может быть просто конъюнкция каких-то признаков человеческого лица. Выражение причины через признаки должно использовать дизъюнкцию.

В этом случае надо попытаться найти *частные ядра сходства* и попробовать объединить их в причину через операцию дизъюнкции. Выделим все попарные общие признаки у лиц, входящих в положительные примеры. Первое и третье лицо имеют общую часть e , первое и третье — f , а второе и третье — \bar{g} . Проверяем, какое из полученных выражений является ложным на всех контрпримерах. Таковым оказывается лишь e . Значит, e должно войти в выражение для причины хорошего настроения зверюшки. Но только два первых положительных примера характеризуются истинным e . Третий положительный пример портит все дело.

Для того чтобы учесть третий пример, надо построить *общее ядро различия* для него и лиц, входящих в отрицательные примеры. Сразу видно, что форма рта тут не поможет. Остаются нос и глаза. Нос и глаза такой формы, как в третьем положительном примере, можно по отдельности найти в отрицательных примерах. Но их комбинация, характерная для третьего положительного примера (при принятых нами обозначениях эта комбинация описывается формулой $f \& \neg g$), нигде не встречается в отрицательных примерах. Это позволяет, наконец, написать выражение для причины h в следующей форме: $h = (e \vee (f \& \neg g))$.

Словесно эта причинно-следственная связь может быть описана следующим образом: зверюшка находится в хорошем настроении, если она встречает человека, рот у которого печален (концы губ опущены вниз) или глаза у него закрыты, а нос тонкий и прямой.

Попробуем теперь найти причину, когда зверюшка бывает в плохом настроении. Обратимся для этого к отрицательным примерам и попробуем на них выделить общее ядро сходства. Оно легко обнаруживается. Это $\neg e$. Но, к сожалению, в качестве причины плохого настроения зверюшки его использовать нельзя. Все тот же третий положительный пример препятствует этому. Значит, и для причины плохого настроения зверюшки надо искать дизъюнктивное выражение. Найдем частные попарные ядра сходства. Для первого и второго отрицательных примеров это ядро есть $\neg e \& g$, для первого и третьего — $\neg e$, а для второго и третьего — $\neg e \& \neg f$. Второе частное ядро сходства совпадает с общим ядром сходства и поэтому интереса не представляет. Два других частных ядра сходства на всех лицах положительных примеров оказываются ложными. Это позволяет записать выражение для причины плохого настроения зверюшки в следующей форме: $h' = ((\neg e \& g) \vee (\neg e \& \neg f))$. Учитывая справедливость дистрибутивных законов для конъюнкции относительно дизъюнкции и наоборот (читатели могут проверить этот факт, так как им известно, как проверять в исчислении высказываний равенство $f_1 = f_2$), можно записать выражение для причины плохого настроения зверюшки в более коротком виде: $h' = (\neg e \& (g \vee \neg f))$. Словесно эта причина может быть сформулирована следующим образом: если рот человека улыбается и глаза широко открыты или нос его по форме напоминает картошку, то зверюшка впадает в плохое настроение.

Если составить таблицу, в которой перечислены все комбинации истины и лжи для e , f и g , и определить истинность h и h' , то можно убедиться, что $h' = \neg h$. Другими словами, если h истинно, то зверюшка находится в хорошем настроении, а если h ложно, то в плохом. Это означает, что вместо двух выражений для h и h' можно пользоваться только одним из них.

Такая ситуация не является стопроцентной. На рис. 22 мы снова встречаемся с известной нам зверюшкой. Но здесь выражения для h и h' легко вычисляемые с помощью общих ядер сходства, имеют вид $h = e \& \neg g$ и $h' = g \& \neg e$. Другими словами, зверюшка в хорошем настроении, когда встречает человека с печальным ртом, и она печалится, когда видит человека с широко открытыми глазами. В этом случае h и h' никак не связаны между собой.

Чем различаются два рассмотренных случая? Пусть на пути нашей зверюшки встретился человек с лицом, обведённым на рис. 21 и 22 в рамочку. Как среагирует на него зверюшка?

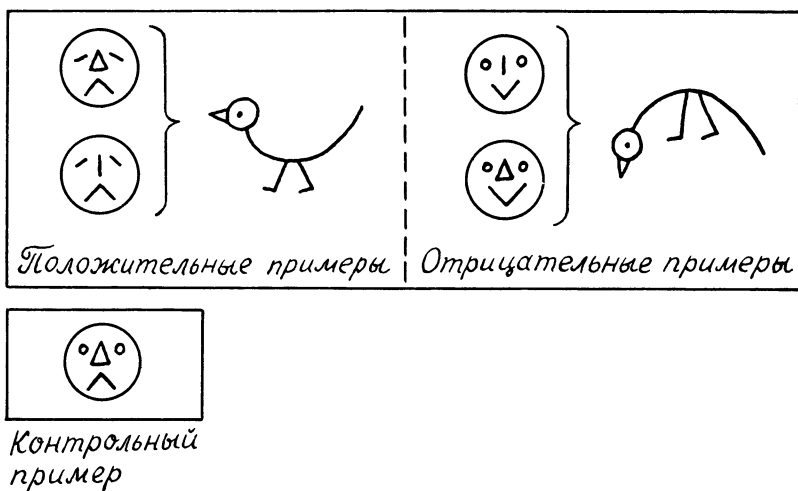


Рис. 22

В случае, показанном на рис. 21, она тут же перейдет в хорошее настроение, ибо h истинно, а h' , естественно, ложно. Но в случае, соответствующем рис. 22, ситуация для зверюшки становится весьма сложной. Для встретившегося ей персонажа h и h' одновременно ложны. Возникает конфликт. Новый персонаж не укладывается в ту классификацию, которая была построена по положительным и отрицательным примерам. Конфликт для зверюшки неразрешим.

Его можно разрешить лишь волевым усилием. Надо включить новый персонаж в число либо положительных, либо отрицательных примеров. В реальности разбиение чего-либо на классы (в наших случаях на два класса) вытекает из каких-то прагматических требований. Например, все люди, отнесенные к положительным примерам, относятся к зверюшке доброжелательно. Их не нужно опасаться. А люди, относимые к группе отрицательных примеров, таковы, что лучше обойти их стороной. От них ждать добра не приходится. Тогда волевое отнесение нового персонажа к той или иной категории должно получить практическое подтверждение своей правильности или неправильности. Если встреча с ним для зверюшки окажется благоприятной, то его, конечно, надо относить к положительным примерам. В противном случае его место среди отрицательных примеров.

Мы продемонстрировали весьма важное положение, связанное с процессом индуктивного обобщения. Если h и h' классифицируют множества положительных и отрицательных примеров, так что $h = \neg h'$, то появление новых примеров не ставит систему в тупик. Она всегда куда-то отнесет новый случай, т. е. при выполнении указанного равенства система обладает

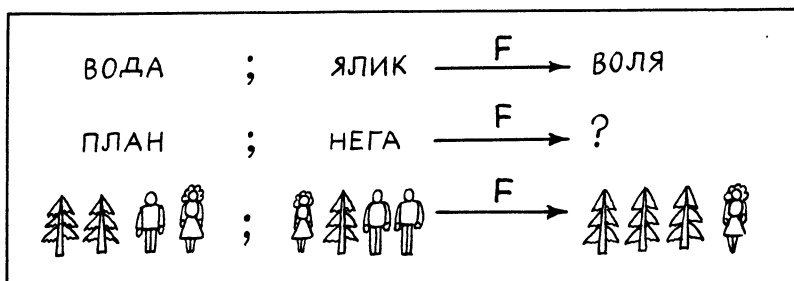


Рис. 23

полнотой классификации. Конечно, может оказаться, что эта классификация не является правильной. Ведь она построена по неполному множеству представителей положительного и отрицательного классов.

Пусть, например, мы снова имеем классификацию, которая соответствует ситуациям, показанным на рис. 21. Но контрольный пример поступает в систему с указанием, что он относится к группе отрицательных примеров. А система в соответствии с ранее построенной классификацией относит его к положительному классу. В таком случае необходимо внести коррективы в классификацию, полученную ранее, выработать новую классификацию с учетом нового множества отрицательных примеров.

Вывод из этого только один. Поскольку множества положительных и отрицательных примеров не охватывают всех возможных случаев, то h и h' , построенные по методам Милли, даже в тех случаях, когда $h = \neg h'$, не могут быть абсолютно точными. Эти утверждения могут быть приняты лишь с некоторой оценкой истинности $Q(h)$ (соответственно $Q(h')$). Но прежде чем описать, как эти оценки вычисляются, рассмотрим еще один метод правдоподобных рассуждений.

Рассуждения по аналогии

Начнем с задачи. Посмотрим на первую строку, показанную на рис. 23. В этой строке представлено преобразование F , с помощью которого пара слов, стоящая слева от стрелки, преобразуется в слово, стоящее от нее справа. Можно ли угадать, во что превратится пара слов, стоящих во второй строке на этом рисунке, если считать, что преобразование F' максимально похоже на преобразование F ? Для ответа на этот вопрос надо сначала понять, какова суть F . После недолгого размышления можно прийти к выводу, что слово, получаемое в результате преобразования, устроено следующим образом: первая его половина совпадает с первой половиной первого слова в исходной паре, а вторая его половина получается из первой половины

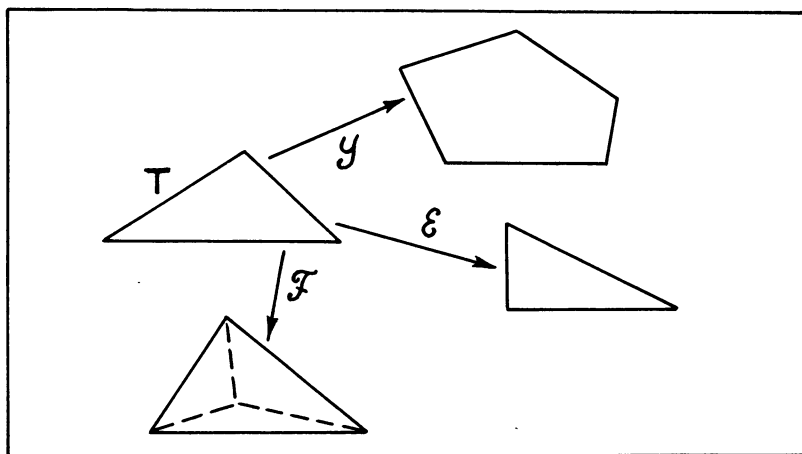


Рис. 24

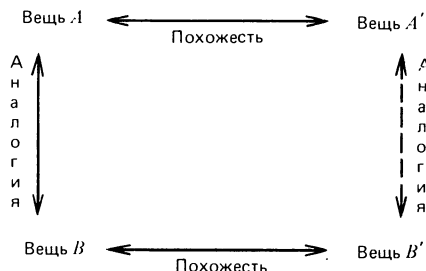
второго слова в исходной паре, если в ней сделать перестановку букв. Если мы верим, что F именно таково (еще раз обратим внимание на этот постулат веры), то можно попытаться придать F' тот же смысл. Тогда вместо знака вопроса в правой части второй строки можно написать результат преобразования. Им будет слово «плен». Если считать, что F'' — преобразование, *аналогичное* F и F' , то вполне законным будет получение правой части по паре левых и в третьей строке на этом рисунке.

Какой смысл мы вложили в слово «аналогичное», когда говорили о преобразованиях? По крайней мере, двоякий. Во-первых, мы предположили, что элементы, из которых состоят слова и рисунки, как-то соответствуют друг другу. Например, елочки и фигурки из третьей строки ассоциируются у нас с буквами, из которых состоят слова, а буквы важны не сами по себе, а по тому месту, которое они занимают в словах. Во-вторых, мы предполагаем, что сохраняется суть преобразования, хотя элементы, с которыми преобразование оперирует, могут быть другими.

Эти соображения помогают уловить расплывчатый смысл, вкладываемый людьми в понятие аналогии. На рис. 24 показано три преобразования для треугольника T . Преобразование U можно назвать обобщением. При переходе от треугольника к многоугольнику наследуются только те геометрические свойства, которые верны для любых многоугольников. Сам треугольник по отношению к множеству многоугольников представляет некоторую конкретизацию. На рис. 24 преобразованием конкретизации служит E , переводящее произвольный треугольник в его частный вид — прямоугольный треугольник. А вот преобразование F можно назвать преобразованием по аналогии.

Треугольная пирамида сохраняет многие свойства треугольника, но является не плоской, а объемной фигурой.

Первая попытка формализовать понятие рассуждения по аналогии была предпринята Лейбницем. В своем сочинении «Фрагменты логики» он ввел понятие пропорции для отношения аналогии. *Пропорция Лейбница* формулируется следующим образом: «Вещь A так относится к вещи B , как вещь A' к вещи B' ». Обычно пропорцию Лейбница представляют в виде диаграммы:



Для иллюстрации того, как может быть использована диаграмма Лейбница, рассмотрим *семантическое пространство Осгуда*. Это пространство, которое американский психолог Чарльз Осгуд строил экспериментально, проводя опыты с людьми, должно было, по его мнению, характеризовать организацию размещения информации в памяти человека. Мы не будем здесь останавливаться на способе его построения. В комментарии к данному разделу имеется некоторая информация по этому вопросу, а в библиографии заинтересовавшиеся читатели могут найти нужные работы. Скажем только, что упрощенное пространство Осгуда является обычным трехмерным евклидовым пространством. Близость по метрике этого пространства характеризует семантическую близость понятий, фактов и утверждений, а рассуждения, проведенные в пространстве относительно группы элементов, могут проецироваться по аналогии на группы, состоящие из семантически близких элементов.

Проиллюстрируем эту мысль, взяв «кусоч» пространства Осгуда, относящийся к понятиям, используемым для указания родства. То, что они в семантическом пространстве расположены компактно, было доказано экспериментально. Этот «кусоч» пространства Осгуда показан на рис. 25. Для удобства введена система координат и сделано такое преобразование, чтобы все точки, соответствующие интересующим нас понятиям, оказались лежащими в вершинах единичного куба (правомочность такого преобразования в пространстве Осгуда мы тут не обсуждаем).

Пусть даны три элемента пропорции Лейбница A , A' и B . И необходимо узнать элемент B' . Для рассматриваемого при-

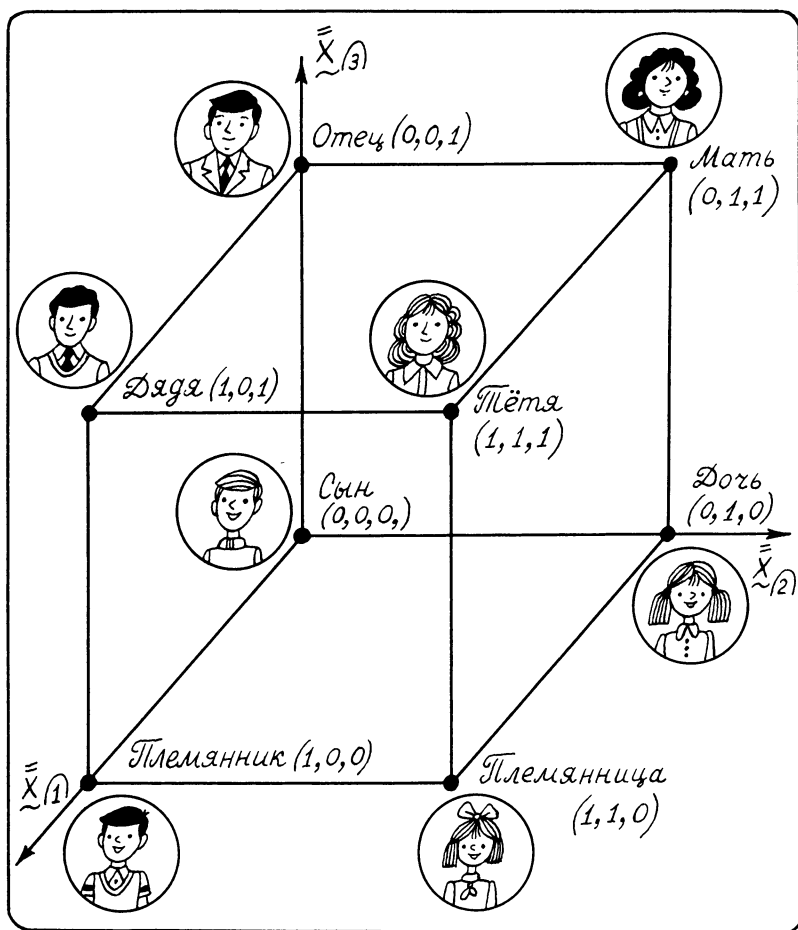


Рис. 25

мера примем следующий способ нахождения координат понятия B' : $b'_i = b_i + a'_i - a_i$ где $i = 1, 2, 3$. Пусть, например, нас интересует пропорция Сын: Дочь = Дядя: ? Для определения неизвестного члена пропорции произведем необходимые вычисления, используя координаты понятий, отмеченные на рис. 25. Получим $b'_1 = 0 + 1 - 0 = 1$; $b'_2 = 1 + 0 - 0 = 1$; $b'_3 = 0 + 1 - 0 = 1$. Таким образом, понятие B' имеет координаты (1, 1, 1). Этим координатам соответствует понятие «Тетя».

Для дальнейшего необходимо уточнить понятия «похожесть» и «аналогия», использованные в диаграмме для пропорции Лейбница, и придать им по возможности строгий смысл. Сделать это можно следующим образом. Выберем некоторый алгеб-

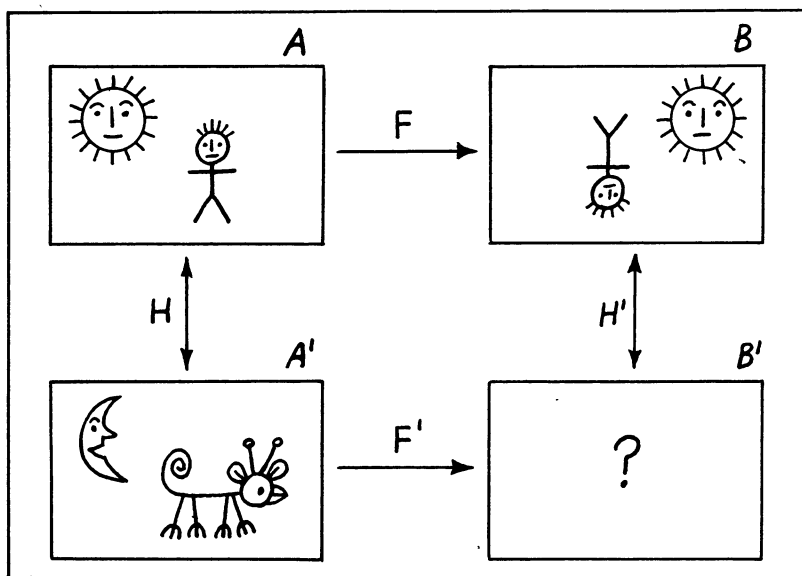


Рис. 26

раический язык для описания A и B , который обозначим \mathcal{S}_1 , и некоторый (вообще говоря, другой) алгебраический язык для описания A' и B' , который обозначим \mathcal{S}_2 . Переход от A к B и от A' к B' будем интерпретировать как преобразование соответствующих описаний в языках \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 . Поскольку выбранные языки являются алгебраическими, то в них выделены элементы и операции, определённые над этими элементами. Учитывая дальнейший пример, будем считать, что в качестве элементов языков \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 выступают некоторые изображения или их совокупности, связанные отношениями из заданного набора двуместных отношений. А операции состоят в том, что над элементами можно совершать различные геометрические преобразования, определяемые их движениями. Это приводит к изменению отношений между элементами, входящими в анализируемые совокупности.

Чтобы все сказанное стало понятнее, рассмотрим конкретный пример. На рис. 26 показана серия изображений, соответствующая пропорции Лейбница, в которой, как всегда, надо восстановить недостающее звено, т. е. осуществить (если это возможно) вывод по аналогии. Для описания изображений введем языки \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 . В языке \mathcal{S}_1 в качестве элементов возьмем изображение солнца s , и человечка m . В качестве отношений будем рассматривать отношения R_1 — «быть слева сверху» и R_2 — «быть справа сверху». Тогда ситуация A может быть опи-

сана как sR_1m . В качестве операций в \mathcal{S}_1 будем использовать перестановку объектов относительно друг друга O_1 и вращение на 180° по часовой стрелке O_2 . Тогда преобразование F можно описать как $O_1(s, m); O_2(m)$. В результате этого возникает ситуация B , описание которой в языке \mathcal{S}_1 выглядит как $sR_2(O_2(m))$.

Введем теперь элементы языка \mathcal{S}_2 . Это луна l и фантастическое животное q . В качестве отношений, используемых в \mathcal{S}_2 , возьмем снова отношения R_1 и R_2 , а в качестве операций \mathcal{S}_2 сохраним операции O_1 и O_2 языка \mathcal{S}_1 . Описание A' выглядит следующим образом: lR_1q . Для получения описания B' установим между A и A' отношение взаимно однозначного соответствия H , например, так, что имеют место взаимно однозначные соответствия $s \leftrightarrow l$ и $m \leftrightarrow q$. Тогда $sR_1m \leftrightarrow lR_1q$ и $A \leftrightarrow A'$. Преобразование F' в наших предположениях совпадает с F . Значит, B и B' должны находиться также во взаимно однозначном соответствии. Но B есть $sR_2(O_2(m))$. Учитывая соответствие между элементами \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 , выводим описание для B' : $lR_2(O_2(q))$.

Рассмотренная процедура носит общий характер. Можно строго доказать, что если в пропорции Лейбница A, A' и B описаны с помощью алгебраического языка, использующего лишь двуместные отношения, задан характер преобразований F и установлено взаимно однозначное соответствие между \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 , то описание B' также возможно на языке \mathcal{S}_2 и существуют взаимно однозначные соответствия $A \leftrightarrow A'$ и $B \leftrightarrow B'$, так что, применяя к A преобразование F и к A' преобразование F' , получаем B и B' , такие, что $B \leftrightarrow B'$.

Заметим, что из этого утверждения вытекает, что необходимым условием для возможности рассуждений по аналогии с использованием пропорции Лейбница служит требование коммутативности ее диаграммы. Требование *коммутативности диаграммы* означает, что описание B' , полученное из A с помощью F и взаимно однозначного соответствия H' , ничем не отличается от описания B' , полученного из A с помощью взаимно однозначного соответствия H и последующего применения к этому результату преобразования F' . С требованием коммутативности диаграмм мы еще столкнемся в последующих разделах этой главы.

Несмотря на все сказанное, полное описание модели рассуждений по аналогии всё еще не получено, так как пропорция Лейбница явно не исчерпывает всех случаев рассуждений подобного типа. Да и в случае, когда мы имеем дело действительно с пропорцией Лейбница, остаются нерешенными по крайней мере два вопроса: как построить языки \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 и как установить взаимно однозначное соответствие между ними. Возможные в этом случае трудности иллюстрирует рис. 27. На этом рисунке показаны ситуации A и A' . Ситуация A может быть

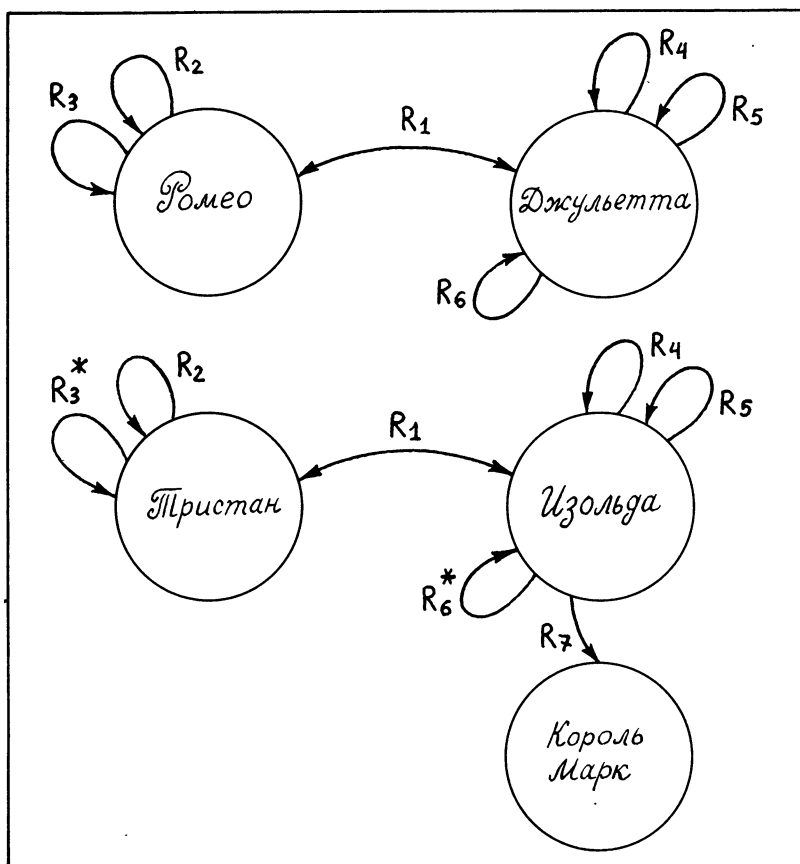


Рис. 27

описана следующим текстом: «Ромео любит Джульетту. Джульетта любит Ромео (на рис. 27 это отношение R_1). Ромео мужчина (R_2). Он итальянец (R_3). Джульетта женщина (R_4). Она красива (R_5). Она не замужем (R_6)». Ситуация A' может быть описана следующим текстом: «Тристан любит Изольду. Изольда любит Тристана (R_1). Тристан мужчина (R_2). Он бретонец (R_3^*). Изольда женщина (R_4). Она красива (R_5). Она замужем (R_6^*). Ее муж — король Марк (R_7)».

Готовы ли мы признать описанные две ситуации аналогичными? И должен ли Тристан действовать так же, как Ромео? Из соответствующих литературных произведений мы знаем, что развитие ситуации A было таково, что оно привело к совместной смерти Ромео и Джульетты. А Тристан и Изольда имели другую судьбу. Почему это произошло? И можно было бы это

формально установить в процессе сравнения ситуаций A и A' ? Ведь во второй ситуации имелся король Марк, а различное число отношений заведомо не позволяло установить взаимно однозначное отношение между их описаниями. Но может быть вместо изоморфизма (т. е. взаимно однозначного отношения) для \mathcal{S}_1 и \mathcal{S}_2 достаточно какого-нибудь гомоморфизма?

Этот вопрос пока остается без ответа. Поэтому ограничимся лишь тем, что для рассуждений по аналогии можно считать твердо установленным. В следующем разделе попытаемся объединить то, что нам уже известно об индуктивном методе Милля и рассуждениях по аналогии.

ДСМ-метод

Сокращение ДСМ, вынесенное в название метода, означает Джон Стюарт Милль. Оно показывает, что метод поиска закономерностей по множествам положительных и отрицательных примеров, к описанию которого мы переходим, опирается на методы индукции, предложенные этим ученым. Их реализация в виде комплекса действующих программ на ЭВМ выполнена современными исследователями.

Введем три множества: *причин* $A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$, *следствий* $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ и *оценок* $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_l\}$. Выражение вида $a_i \Rightarrow b_j$; q_k будем называть *положительной гипотезой*. Оно связано с утверждением типа « a_i является причиной b_j с оценкой достоверности q_k ». Выражение вида $a_i \nRightarrow b_j$; q_k будем называть *отрицательной гипотезой*. Оно связано с утверждением типа « a_i не является причиной b_j с оценкой достоверности q_k ». Для сокращения записи положительные гипотезы будем обозначать $h_{ij}^+ q_k$, а отрицательные — $h_{ij}^- q_k$. Среди значений q_i выделим два специальных, которые можно обозначить 0 и 1. Значение 0, приписанное положительной или отрицательной гипотезе, означает, что соответствующее утверждение является ложным. Приписывание гипотезам значения 1 означает, что данная гипотеза является тождественно истинной. Таким образом, гипотезы с оценками 0 и 1 можно рассматривать как высказывания, ложность и истинность которых твердо установлены. Все остальные оценки, отличные от 0 и 1, будем обозначать рациональными числами вида s/n , где s пробегает значения от 1 до $n - 1$. Величина n характеризует «дробность» используемых оценок достоверности. Чем больше, n , тем с большей точностью оценивается степень достоверности гипотез.

Пусть мы вдруг оказались в стране, где до этого нам не приходилось бывать. Выйдя из гостиницы, мы увидели, что у подъезда стоит такси, выкрашенное в ярко-желтый цвет. Через некоторое время рядом останавливается еще одно такси такого же цвета. В нашей голове возникает положительная гипотеза

вида «В этой стране, если автомобиль выполняет роль такси, то цвет его будет желтым». Оценка достоверности этой гипотезы при двух наблюдениях будет невелика. Но если во время прогулки по улицам города мы увидим, что такси окрашены в тот же желтый цвет, то оценка выдвинутой при выходе из гостиницы гипотезы будет все время возрастать. Станет ли она когда-нибудь равной единице? Если после недельного пребывания в стране наша гипотеза будет подтверждаться лишь положительными примерами, то на родине, рассказывая знакомым и друзьям о своих впечатлениях, связанных с поездкой, мы вполне можем заявить: «А такси у них покрашены в ярко-желтый цвет, что очень удобно — сразу можно найти его, когда нужно». Значит ли это, что гипотеза о цвете такси приобрела оценку достоверности, равную 1?

Можно ввести два типа истинности: *эмпирическую истину* и *теоретическую истину*. В нашем примере высказыванию о цвете такси мы, конечно, приписываем эмпирическую истину. Просто все наши наблюдения были в пользу данной гипотезы. Но мы вполне можем допустить, что есть небольшое количество такси иного цвета. Они ни разу не попадались нам на глаза. Совсем другое положение будет в том случае, когда в путеводителе, обнаруженном в гостинице, будет сказано, что закон данной страны запрещает окрашивать такси в какие-либо другие цвета, кроме желтого. При такой информации высказывание о желтом цвете такси будет оценено как теоретическая истина.

На этом простом примере видна разница между дедуктивным и индуктивным умозаключением. При использовании информации из путеводителя о цвете такси вы уже не нуждаетесь в эксперименте. Полученное знание носит общий характер. В каждом конкретном случае (например, при поиске такси) его можно механически применять, фиксируя цвета проходящих машин. Никакого нового знания при решении конкретных задач, связанного с цветом такси, получить нельзя. При получении же информации из наблюдений формируется новое знание, которого раньше не было. Гипотеза о цвете такси в данной стране — это новая информация. Таким образом, индуктивное рассуждение способно порождать новые знания. В этом смысле оно куда более «интеллектуально», чем дедуктивное рассуждение.

Достижение эмпирической истины (а только такая истина и возможна при индуктивных рассуждениях) вполне возможно. Для этого достаточно некоторого множества положительных примеров при полном отсутствии отрицательных примеров, опровергающих выдвинутую гипотезу. А число необходимых положительных примеров, необходимых для того, чтобы считать гипотезу эмпирически истинной, может быть разным в различных обстоятельствах и у разных людей. Недаром же все представители рода человеческого делятся на тех, кто готов верить в

нечто всего по одному примеру, и тех, кто подобно евангельскому Фоме никогда не может уверовать до конца даже в самые очевидные для остальных истины.

Рассмотренный пример иллюстрирует процесс оценивания степени достоверности гипотезы, когда предполагаемая причина (в нашем случае — принадлежность автомашины к множеству такси) уже выделена из множества возможных причин. В ДСМ-методе формализован не только этот этап, но и предшествующий ему этап нахождения кандидата в причины, которая могла бы вызвать интересующее нас следствие. В примере это соответствовало бы следующему. Наблюдая на улицах города потоки автотранспорта и выделяя среди автомашин ярко-желтые, надо «сообразить», что желтыми являются только такси.

Причины могут быть различными по типу. Наиболее редкими являются *необходимые и достаточные причины*. Если a_i — причина такого типа, то b_j происходит всегда, и если b_j произошло, то наверняка было a_i . Примерами такой «жесткой» связи двух явлений может служить падение тела, если для него отсутствует опора. Чаше встречаются *достаточные причины*, всегда вызывающие появление b_j . Но появление b_j не служит стопроцентным обоснованием того, что до этого было a_i . Следствие b_j могло быть вызвано и какими-то другими достаточными причинами. Если, например, ваш друг не пришел в условленное место и в условленное время на свидание, то, возможно, он заболел, ибо болезнь — достаточная причина для отказа от свидания, но весьма вероятно, что были какие-то другие причины нарушения им своего обещания.

Дополнительные причины обладают тем свойством, что их наличие не вызывает следствия b_j . Для того чтобы b_j появилось, нужен вполне определенный набор дополнительных причин, который выступает в роли обобщенной достаточной причины появления b_j . Легко себе представить такой набор причин, который приводит к попаданию мяча в сетку ворот при игре в футбол. Перечисление и обсуждение дополнительных причин, приведших к голу, — знакомое занятие для каждого истинного любителя футбола. Среди дополнительных причин могут быть *необходимые дополнительные причины*. Их вхождение в набор, образующий обобщенную достаточную причину, обязательно для того, чтобы b_j реализовалось. Остальные дополнительные причины можно назвать *факультативными*. В окончательный набор могут входить те или иные комбинации факультативных причин. Так, в ситуации забивания гола две дополнительные причины являются заведомо необходимыми: удар, посылающий мяч в ворота, и ошибка вратаря. Остальные дополнительные причины являются факультативными. Наконец, *возможные причины* a_i обладают тем свойством, что появление a_i необязательно вызывает b_j , но увеличивает возможность появления b_j .

Кроме причин a_i важную роль в процессах реализации причинно-следственных зависимостей играют так называемые *тормоза*. Наличие тормоза наряду с причиной, вызывающей b_j в обычных условиях, приводит к тому, что b_j не появляется. Так, принятие смертельной дозы яда не приводит к ожидаемому исходу, если до этого было принято противоядие.

Вернемся к ДСМ-методу. После сказанного становится ясным, что нахождение причин — кандидатов для формируемых гипотез — дело далеко не простое. В положительных и отрицательных примерах эти причины скрыты в описаниях реальных объектов, обладающих или не обладающих интересующими нас свойствами. Из этих описаний надо выделить кандидатов в причины, а затем убедиться, что выбор оказался не случайным. При первом реальном использовании ДСМ-метода одной из конкретных задач была задача нахождения причин того, что некоторое органическое химическое соединение будет обладать свойством биологической активности. Постулировалась, что информация о причинах биологической активности скрыта в структурной формуле того или иного соединения. Какие-то особенности этих формул оказывали влияние на интересующее исследователей свойство. Экспериментально для многих соединений было установлено наличие или отсутствие в них биологической активности. Эти экспериментальные факты составляли множество положительных и отрицательных примеров. На основании их программы, реализующие ДСМ-метод, должны были найти новые, не известные химикам и фармакологам закономерности, позволяющие без экспериментальной проверки (весьма дорогой и длительной) оценивать возможность того, что вновь синтезированное вещество будет обладать биологической активностью.

Суть того, как это делалось с помощью ДСМ-метода, состоит в следующем. Рассмотрим группу положительных примеров. Находим некоторую часть описания объектов, общую для определенной совокупности примеров из этой группы. Например, обнаруживаем в значительной части структурных формул соединений, обладающих свойством биологической активности, кольцевую структуру с фиксированным заполнением позиций в этой структуре. Тогда есть основания считать ее кандидатом в причины. Таких кандидатов может оказаться несколько. Образует матрицу M^+ , в которой строки соответствуют выделенным кандидатам a_i , а столбцы — интересующим нас следствиям b_j (при одном интересующем нас следствии в M^+ будет один столбец). На пересечении строк и столбцов будем записывать оценки достоверности q_k гипотез h_{ij}^+ . Об их нахождении будет сказано ниже. Для множества отрицательных примеров аналогичным образом строится другая матрица M^- , в которой содержатся оценки достоверности отрицательных гипотез h_{ij}^- . Кандидаты в причины в матрицах M^+ и M^- могут

частично совпадать, так как положительные и отрицательные примеры не образуют полной выборки из всего множества возможных примеров.

На каждом шаге работы ДСМ-метода используются новые наблюдения, пополняющие множества положительных и отрицательных примеров. Эти новые наблюдения могут либо подтверждать сформированные гипотезы $h_{i,j,k}^+$ и $h_{i,j,k}^-$, либо противоречить им. В первом случае надо увеличивать оценки достоверности соответствующих гипотез, а во втором — уменьшать их. Механизм изменения оценок q_k может быть различным. В ДСМ-методе он устроен следующим образом. Значение n совпадает с числом имеющихся в данный момент положительных или отрицательных примеров. Таким образом, для M^+ и M^- значение n может оказаться различным. С ростом n растет «дробность» оценок достоверности. Оценка $1/n$ играет особую роль. Она соответствует полному незнанию о достоверности гипотезы. Поэтому в начальный момент M^+ и M^- заполнены лишь нулями, единицами и оценками $1/n$. Значения истинности и лжи могут иметь гипотезы, у которых в качестве причин даны полные описания объектов, образующих множества примеров.

Если некоторая положительная или отрицательная гипотеза $h_{i,j,k}$ имела оценку k/n , то при появлении нового примера (n заменяется на $n+1$) проверяется, подтверждает или не подтверждает новый пример эту гипотезу. При подтверждении оценка k/n заменяется на $(k+1)/(n+1)$, а при неподтверждении новым примером ранее выдвинутой гипотезы ее оценка меняется с k/n на $(k-1)/(n+1)$. Таким образом, в процессе накопления новой информации оценки гипотез либо приближаются к 0 или 1, либо ведут себя каким-либо «колеблющимся» образом. В первом случае гипотеза может на некотором шаге (когда будет пройден некоторый априорно заданный нижний порог достоверности) исчезнуть из M^+ или M^- . Во втором случае при достижении некоторого верхнего порога достоверности гипотеза может получить оценку, отражающую эмпирическую истину, и запомниться как некий установленный факт в системе или эта гипотеза сообщается человеку, работающему с ДСМ-программами. В третьем случае, если колебания оценок достаточно сильны, может также произойти исключение сформированной ранее гипотезы из тех, которые описаны в M^+ и M^- .

Новые гипотезы формируются не только на основании выделения в примерах определенного сходства (общей части в описании). Они могут использоваться и метод различия, также сформулированный Миллем. Различие выявляется для примеров, относящихся к группам положительных и отрицательных примеров. Найденное различие служит кандидатом для гипотез, включаемых в M^+ или M^- .

Кроме выявления кандидатов в причины a_i для положительных и отрицательных гипотез в описываемом методе ищутся также тормоза, наличие которых снимает влияние a_i на появление b_j . В новых версиях метода в качестве a_i выступают весьма сложные утверждения, в которых отдельные части описаний объектов могут быть связаны между собой произвольными логическими выражениями, например, следующего типа: «Если в объекте есть a' и a'' и нет a''' или в объекте есть a'''' , то свойство b имеет место».

Как уже было сказано, в ДСМ-методе кроме прямой реализации идей Милля используются еще некоторые выводы по аналогии. Для этого на множестве описаний объектов вводится тем или иным способом понятие сходства. Если, например, речь идет о структурных формулах химических соединений, то мерой сходства для них могут быть совпадение самих структур при различных заполнителях позиций или, наоборот, наличие в некоторых фиксированных позициях структур одинаковых элементов. Если установлено отношение сходства, то в ДСМ-методе происходит вывод по аналогии. Он осуществляется следующим способом. Если гипотеза h_{ijk} имеет оценку k/n и такова, что причина, используемая в ней, сходна с причиной в гипотезе h'_{ij1} , имеющейся в той же матрице M и оцениваемой с точки зрения достоверности значением $1/n$, то на гипотезу h'_{ij1} переносится оценка гипотезы h_{ijk} и она получает оценку достоверности k/n . Подобная процедура в ДСМ-методе называется *правилом положительной аналогии*. Существует в этом методе и *правило отрицательной аналогии*, а также градация тех и других правил по силе учитываемого в них сходства. Таким образом, ДСМ-метод демонстрирует возможность проведения правдоподобных рассуждений весьма широкого спектра.

Нечеткий вывод

Ранее мы говорили о кванторах общности и существования в исчислении предикатов и о близких к ним по смыслу кванторах в силлогистике Аристотеля. Эти кванторы — не единственные. Могут встречаться и более сложные указатели. И как раз их-то чаще всего используют в своих рассуждениях люди. Эти кванторы в отличие от классических кванторов будем называть *квантификаторами*.

Вот, например, квантификатор «только». Какова его роль в наших рассуждениях? Если кто-то говорит: «Маша из всех каш ест только гречневую», то квантификатор «только» выделяет из множества сущностей с именем «каши» одну определенную сущность. В этом случае рассматриваемый квантификатор играет роль выделителя определенной группы элементов. В другом утверждении «Только тропические страны пригодны для возделывания кофе» квантификатор «только» выполняет именно эту роль — выделителя из множества стран тех, которые относятся к

тропическим. Утверждение, приведенное нами, порождает два других утверждения: «Существуют тропические страны, в которых возделывается кофе» и «Для всех стран, которые не являются тропическими, неверно утверждение, что в них можно возделывать кофе». Но в естественном языке «только» может использоваться и для указания на другие способы вычленения событий. Вот несколько примеров: «Я купил только чашки» (т. е. я купил чашки, а не что-либо иное), «На лекцию пришло только пять студентов» (т. е. именно пять, а не другое число), «Он придет только завтра» (а не сегодня? не послезавтра?). Число подобных примеров можно неограниченно продолжать.

«Только» — не единственный экзотический квантификатор. Чего стоит, например, квантификатор «Даже»! Сравним два утверждения: «Даже Джек смог догнать эту лисицу» и «Даже Джек не смог догнать эту лисицу». Внешне оба утверждения весьма похожи. Но квантификатор «даже» выполняет в них различную роль. В первом утверждении Джек стоит на нижнем конце шкалы, по которой упорядочены все собаки, пригодные для охоты на лис, а во втором утверждении квантификатор «даже» ставит Джека на первое место в этой шкале. До настоящего времени не создана теория рассуждений с подобными квантификаторами. Поэтому в данном разделе рассмотрим лишь вполне определенную группу квантификаторов, которую будем называть *нечеткими квантификаторами*. Обозначим их, как это традиционно принято для кванторов в логике, перевернутыми буквами. Прежде всего определим, какие же квантификаторы будем считать нечеткими.

Их название указывает на тесную связь с новым разделом математики — нечеткой математикой. Слово «нечеткая» да еще в применении к математике вызывает законное недоумение. Но такова калька английского слова *fuzzy*, которое можно переводить еще как «размытая» или «расплывчатая». Именно это слово использовал Л. Заде — основатель нечеткой математики. В отличие от обычного понятия множества, известного каждому, кто сталкивался с математикой, Заде ввел понятие *нечеткого множества*. Оно отличается от обычного множества тем, что относительно любых его элементов в теории Заде можно сделать три утверждения, из которых только первые два рассматриваются в обычной (четкой) математике: «Элемент принадлежит данному множеству», «Элемент не принадлежит данному множеству» и «Элемент принадлежит данному множеству со степенью уверенности μ ». При этом $0 < \mu < 1$. Первые два утверждения соответствуют $\mu = 1$ и $\mu = 0$.

На рис. 28, а показана ситуация, связанная с формированием множества с именем «высокие люди». По-видимому, никто не усомнится, что персонаж А к этому множеству принадлежит. Для него $\mu = 1$. Столь же очевидно, что персонаж В должен остаться

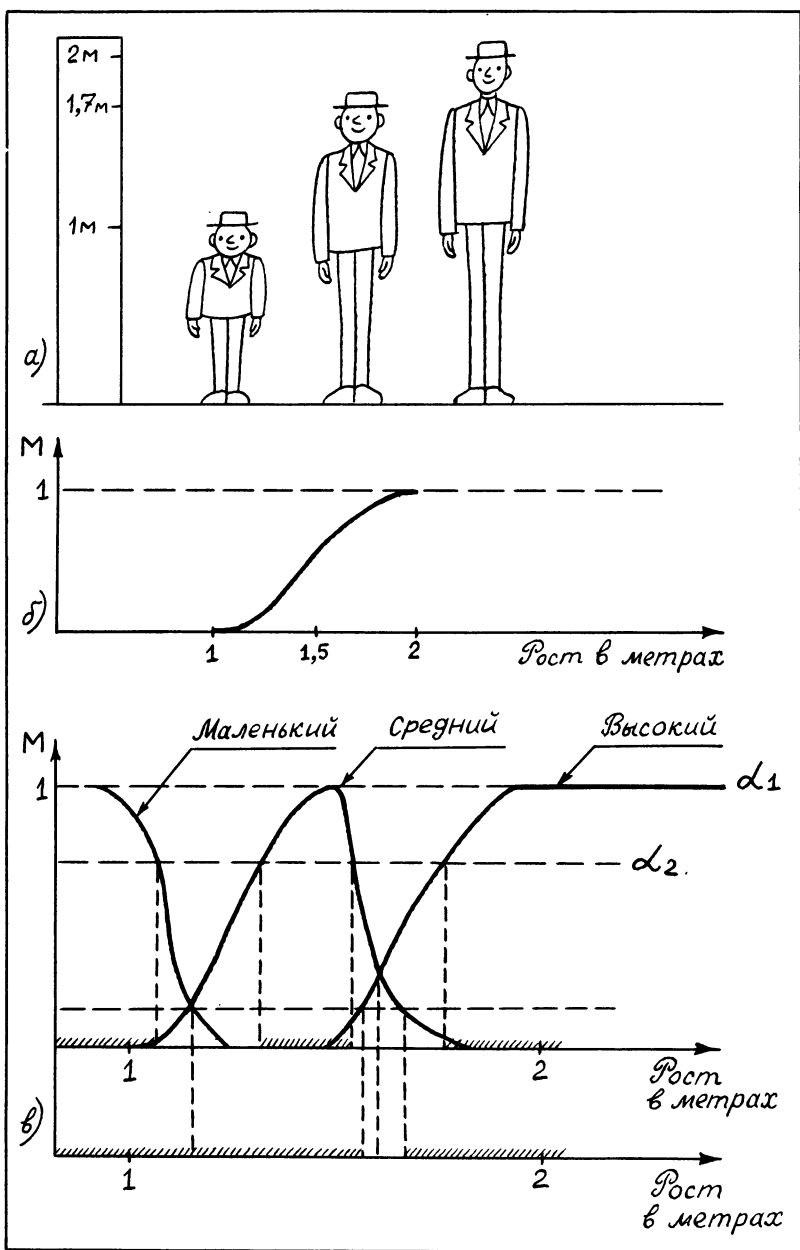


Рис. 28

вне формируемого множества. Для него $\mu=0$. Относительно же персонажа *С* мнения могут разделиться. Одни будут склонны считать, что рост 170 см уже достаточен для отнесения *С* к высоким людям. Другие же будут придерживаться противоположного мнения. Мнения относительно принадлежности отдельных элементов нечеткому множеству никогда не становятся однозначными. Это произошло бы в единственном случае, когда понятие «высокий рост» было бы регламентировано ГОСТом, обязательным для всех людей, участвующих в нашем мысленном эксперименте. А пока этого нет, каждый волен иметь по этому поводу свое мнение.

Если опросить достаточное количество людей, то можно получить усредненные характеристики того, что люди считают высоким ростом. На рис. 28, б показана некоторая функция, называемая *функцией принадлежности* нечеткого множества. Ее ординаты показывают степень принадлежности людей с тем или иным значением роста, отложенным по горизонтальной оси, к множеству «высокие люди». Конкретные значения ординат этой функции могут меняться при смене тех, кого мы опрашиваем (например, в Юго-Восточной Азии произойдет явное смещение границы высоких людей влево), но качественный вид функции принадлежности будет неизменным. Сначала будет идти нулевая зона, потом начнется рост значений функции, а завершением ее будет опять горизонтальный участок со значением $\mu=1$.

«Высокий» — это представитель множества нечетких квантификаторов. Теперь можно сказать, что некоторый квантификатор является нечетким, если для него оказывается возможным построить функцию принадлежности к соответствующему нечеткому множеству. Таких квантификаторов в человеческих рассуждениях немало. Вот несколько примеров из стихотворений Б. Л. Пастернака: «Мне далекое время мерещится, дом на стороне Петербургской», «Огни заката догорали. Распутицей в бору глухом в далекий хутор на Урале тащился человек верхом», «На протяжении многих зим я помню дни солнцеворота, и каждый был неповторим и повторялся вновь без счета». В них использованы нечеткие квантификаторы, формирующие нечеткие множества с именами «далекое время», «далекое место», «многие зимы». Для них можно построить соответствующие функции — принадлежности, используя, в частности, дополнительную информацию из текста стихотворения или из нормативных знаний о длительности человеческой жизни или об оценках расстояний, преодолеваемых верхом.

Введем важное понятие *лингвистической шкалы*. Лингвистическая шкала — это последовательность нечетких квантификаторов, относящихся к оценке элементов по одному и тому же основанию (расстоянию, длительности, частоте, размерам и т. п.). Примерами лингвистических шкал могут служить шкала расстоя-

ний: плотную, очень близко, близко, ни далеко ни близко, далеко, очень далеко, в бесконечности; или шкала размеров: крошечный, очень маленький, маленький, средний, большой, очень большой, огромный. Особенностью лингвистических шкал является то, что их элементы могут быть отражены в некоторых интервалах значений определенного параметра, измеряемого в натуральных единицах (метрах, часах, квадратных километрах и т. п.). При хорошо устроенной шкале эти интервалы должны покрывать ее плотно без наложений друг на друга. Добиться этого можно путем введения отсечек на графиках функций принадлежности, фиксирующих некоторое их пороговое значение.

На рис. 28, в показаны два уровня отсечки α : α_1 и α_2 . Как видно из проекций отсекающих линий на ось абсцисс, α_1 таково, что плотного покрытия интервалами значений параметра «рост» не происходит. Между отрезками, соответствующими нечетким квантификаторам роста «маленький», «средний» и «высокий», образуются пустые отрезки (на рис. 28, в они не помечены косыми линиями). При значении α_2 заполнение почти плотное. Если оставшийся пустым отрезок разделить пополам между двумя соседними, то образуется лингвистическая шкала роста, содержащая три нечетких квантификатора. Величина α может быть определена как степень уверенности, с которой квантификатор относит значения роста к соответствующим нечетким множествам (в нашем примере это множества «маленькие (в смысле роста) люди», «люди среднего роста» и «высокие люди»).

Перейдем теперь к нечетким рассуждениям. Напомним сначала, что один шаг достоверного вывода можно описать в виде схемы следующего вида.

$$\frac{\text{Посылки } F_1; F_2; \dots; F_n}{\text{Следствия } \Phi_1; \Phi_2; \dots; \Phi_m}.$$

Здесь над чертой стоят те утверждения, истинность которых уже доказана, а ниже черты — утверждения, истинность которых логически следует из верхних утверждений и тех правил вывода, которые используются в данной логической системе. Для большей наглядности рассмотрим один частный, но весьма распространенный случай вывода, с которым мы уже сталкивались, — по правилу модус поненс. Напомним его схему:

$$\frac{A; A \rightarrow B}{B}.$$

Рассмотрим теперь схему вида

$$\frac{\bigwedge_1 A; A \rightarrow B}{\bigwedge_2 B}.$$

Здесь \succ_1 — нечеткий квантификатор, показывающий, что истинность A не является абсолютной. Конечно, вывод, который следует из подобной посылки, также не может быть достоверным. Степень его правдоподобности оценивается нечетким квантификатором \succ_2 . Примером рассуждения такого типа может служить следующая схема:

Часто идет дождь; Когда идет дождь, я не выхожу на улицу
? Я не выхожу на улицу

Знак вопроса стоит тут на том месте, где должен находиться некоторый нечеткий квантификатор. Интуиция подсказывает нам, что им должен быть квантификатор «часто». Вывод «часто я не выхожу на улицу» выглядит вполне в духе человеческих умозаключений.

Рассмотрим еще одну схему:

$$\frac{A; A \rightarrow \succ_1 B}{\succ_2 B}$$

Здесь квантификатор \succ_1 стоит в другой позиции. Примером такого рассуждения может служить следующая схема:

Идет дождь; Когда идет дождь, я редко хожу гулять
? Я хожу гулять

Какой квантификатор надо здесь подставить вместо знака вопроса? Однозначный ответ на этот вопрос вряд ли возможен. В схеме нет информации о частоте события A . А без этой информации трудно сделать сколь-нибудь содержательное заключение. Можно лишь отметить, что если речь идет о сиюминутном решении о прогулке, то положительное решение о ней имеет не слишком большую вероятность.

Рассмотрим, наконец, схему

$$\frac{\succ_1 A; A \rightarrow \succ_3 B}{\succ_2 B}$$

Конкретный случай ее реализации:

Часто идет дождь; Когда идет дождь, я редко хожу гулять
? Я хожу гулять

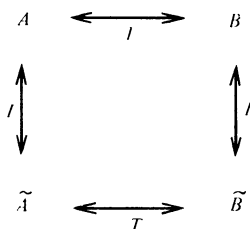
Здесь определение \succ_2 более обосновано. По-видимому, большинство читателей не будут возражать, если вместо знака вопроса будет стоять квантификатор «нередко», хотя могут быть и другие мнения.

При создании логик, моделирующих нечеткие рассуждения, делалось немало попыток поиска формальных процедур, позволяющих «вычислять» вид \succ_2 . О некоторых из них говорится в

комментариях к данному разделу. В следующем разделе мы опишем один из возможных способов такого «вычисления», а в заключительном разделе главы познакомимся еще с несколькими предложениями такого рода. Но прежде чем делать это, остановимся еще на одном моменте, связанном с использованием нечетких квантификаторов при рассуждениях.

В высказываниях «В Ленинграде часто идет дождь» или «Мой ребенок часто болеет» использован один и тот же нечеткий квантификатор «часто». Но каждому ясно, что за ним скрывается не одинаковая фактическая частота. Дожди в Ленинграде, наверное, идут куда чаще, чем болеет ребенок. Один и тот же квантификатор соотносится в этих высказываниях с различными *нормами*. Норма частоты дождя в Ленинграде иная, чем норма частоты заболевания детей. Если житель Москвы говорит, что он живет недалеко от работы, а житель Ялты говорит то же самое, то за квантификатором «недалеко» у москвича скрывается куда большее расстояние, чем у ялтинца. Таким образом, сами по себе квантификаторы ничего не определяют, кроме положения на лингвистической шкале. В конкретных ситуациях они приобретают некоторый физический смысл, зависящий от этих ситуаций. Поэтому особое значение приобретают исследования, в которых предлагается аппарат, позволяющий делать нечеткие выводы единообразным способом для всего класса однотипных или похожих ситуаций.

Известен, например, *Принцип ситуативной инвариантности*, позволяющий, проведя рассуждение для одной ситуации, преобразовывать его формальным образом для ситуаций, сходных с первоначальной. Этот принцип срабатывает, если имеется лингвистическая шкала. Тогда переход от ситуации к ситуации связан с монотонным смещением всех отрезков, соответствующих квантификаторам шкалы, на определенное число позиций влево или вправо по множеству значений признака, учитываемого данной лингвистической шкалой. Такое смещение позволяет использовать в нечетких рассуждениях элементы, характерные для рассуждений по аналогии. Только вместо диаграммы, отражающей пропорцию Лейбница, в нечетких рассуждениях появляется *нечеткая диаграмма моделирования* (НДМ), которая имеет вид



В этой диаграмме A обозначает описание некоторой ситуации, а \tilde{A} — отображение этой ситуации с помощью перехода от ка-

чественных параметров, присутствующих в описании A , к их представлению через утверждения с нечеткими квантификаторами. Таким образом, \tilde{A} есть нечеткая модель ситуации A . Если ситуация A является основанием для перехода с помощью некоторого рассуждения T к ситуации B , то нам бы хотелось, чтобы существовало нечеткое рассуждение \tilde{T} , с помощью которого из \tilde{A} получалось бы описание \tilde{B} , и между A и \tilde{A} , а также между B и \tilde{B} существовало определенное соответствие I (например, изоморфизм). Диаграмма НДМ должна обладать свойством коммутативности. Другими словами, \tilde{B} должно получаться одинаковым, если сначала проводится четкое рассуждение T , а затем от B происходит переход с помощью соответствия I к \tilde{B} или если сначала от A совершается переход к \tilde{A} , а затем проводится нечеткое рассуждение \tilde{T} , аналогичное рассуждению T .

Такая близость рассуждений по аналогии и нечетких рассуждений не случайна. Ибо в основе этих рассуждений лежит идея сходства, похожести.

Нечеткая силлогистика

Силлогистика Аристотеля совсем недавно вновь стала объектом пристального внимания исследователей. Идеи нечетких рассуждений оказались перенесенными на модусы и фигуры, казавшиеся венцом достоверных рассуждений. Прежде чем изложить эти идеи, опишем одну историю, которую можно было бы назвать «Силлогизм бабушки».

«Жара уже спадала, когда Сумбурук и Твидл приехали в один маленький городок — кажется, где-то на юге Франции. Возле автостоянки был бар. Они оставили машину, договорились встретиться в баре вечером и разошлись кто куда. Сумбурук пошел бродить по незнакомым улицам, а Твидл сразу направился в бар: он всегда больше предпочитал сидеть, чем ходить.

К вечеру в бар, помахивая бамбуковой тросточкой, вошел Сумбурук. На голове у него был роскошный блестящий цилиндр.

— Вырядился, прямо как Макс Линдер. Только полосатых панталон не хватает, — сказал Твидл, когда Сумбурук приблизился к нему. — Красивая тросточка. И цилиндр, кстати, тебе идет.

— Хочешь, можешь тоже купить. Они продаются на каждом углу. А кто в цилиндре... — Сумбурук слегка, кончиками пальцев коснувшись цилиндра, сделал незаметный жест, и тросточка в другой его руке завертелась, как пропеллер. — Те, с тросточкой, я заметил, почти всегда, — закончил он и присел за стойку, собираясь заказать себе абсент. Но не успел он это сделать, как с удивлением обнаружил, что рюмка крепкого зеленоватого напитка уже стоит перед ним.

— Не удивляйся, — заметил Твидл. Он (Твидл кивнул на бармена) увидел, как ты вертел тросточкой, вот и все. Держу пари, здесь все, кто с тросточкой, пьют исключительно абсент. По крайней мере, за три часа, пока я здесь, он ни разу не ошибся. Да и то сказать, — Твидл еще раз оглядел Сумбурука, —

с таким цилиндром и тросточкой можно разве в этом городе пить что-нибудь кроме абсента?

Сумбурук сделал глоток и на секунду задумался.

— Я, кажется, могу дать ему дельный совет,— сказал он и показал незаметно на бармена. Сумбурук шелкнул пальцами, и бармен поглядел на него.

— А тем, кто в цилиндре, вы тоже сразу наливаете абсент?

— Да, если в руках еще и тросточка,— ответил бармен.

— Но в этом городе все, кто в цилиндре, ходят с тросточкой, разве нет?

— Почти все,— поправил бармен.— Вам налить что-нибудь другое? И он с подозрением посмотрел на цилиндр Сумбурука.

— Все в порядке,— успокоил его Сумбурук. Просто мой вам совет: тому, кто в цилиндре, с тросточкой он или без тросточки, можете, не спрашивая, тоже смело наливать абсент — не ошибетесь никогда.

— Не ошибусь? — переспросил бармен.— Никогда? Вы уверены?

— Ну, почти никогда. Еще Аристотель говорил: если почти все, кто носит цилиндр, ходят с тросточкой, и почти все, кто ходит с тросточкой, пьют только абсент, то почти все, кто носит цилиндр, тоже пьют только абсент. Согласны? — спросил Сумбурук. Он когда-то изучал логику и немного гордился этим *.

— Вы не правы,— к удивлению друзей вежливо, но твердо возразил бармен.— Еще моя покойная бабушка, помню, любила повторять: если почти все, кто носит цилиндр, ходят с тросточкой, и вместе с тем почти все, кто ходит с тросточкой, пьют только абсент, то наверняка можно сказать только одно: из тех, кто носит цилиндр, многие пьют только абсент. Многие — да, согласен. А сказать "почти все" — это неверно.

Сумбурук никогда не был формалистом,— скорее, напротив. Но тут, немного задетый; он (с кем не бывает!) задал вопрос, который вряд ли пришел бы в голову Макс Линдеру:

— А что значит "многие"?

— Да-да,— поддержал его Твидл,— "многие" это что: больше 30%, больше 50% или, может, больше 90%?

— Ну, 90% это вряд ли,— сказал бармен, слегка ошарашенный таким обилием неизвестно откуда взявшихся цифр.— Во всяком случае "многие" это не то же самое, что "почти все". В нашем городе вкусы меняются медленно, и поверьте, я на собственном опыте знаю: моя бабушка была права.

— По всему выходит, что ваша бабушка умнее Аристотеля,— заметил Твидл.

Бармен пожал плечами.

— Я, простите, ничего не знаю о человеке по имени Аристотель. Он, наверное, грек, а я наполовину француз. Но могу сказать одно,— тут он взял бутылку абсента и налил нашим друзьям еще по рюмке,— моя бабушка была очень умная и добропорядочная женщина».

Постараемся разобраться в силлогизме бабушки. Введем ряд обозначений:

a — количество людей, которые ходят в цилиндре;

* Сумбурук учился логике давно. Он приписал Аристотелю то, что, как помнит читатель, Аристотель никогда не считал правильным умозаключением.

b — количество людей, которые ходят с тросточкой;
 c — количество людей, которые пьют только абсент;
 $P(b/a)$ — доля тех, кто ходит с тросточкой среди тех, кто носит цилиндр;
 $P(c/b)$ — доля тех, кто пьет только абсент, среди тех, кто ходит с тросточкой;
 $P(c/a)$ — доля тех, кто пьет только абсент, среди тех, кто ходит в цилиндре;
 $P(a)$ — доля тех жителей города, которые ходят в цилиндре, от всех жителей города;
 $P(b)$ — доля тех, кто ходит с тросточкой, от всех жителей города;
 $P(c)$ — доля тех, кто пьет только абсент, от всех жителей города.

Получение всей этой информации требует некоторого статистического обследования жителей города и их привычек. Результаты такого обследования могут быть сведены в *таблицу сопряженности* (табл. 5).

Таблица 5

	bc	bc	bc	$b\bar{c}$
a	z_1	z_2	z_3	z_4
\bar{a}	z_5	z_6	z_7	z_8

В этой таблице z_3 , например, доля жителей города, которые ходят в цилиндре и с тросточкой, но не пьют абсента. Аналогичным образом интерпретируются и остальные ее элементы. Значения z_i удовлетворяют ряду соотношений.

$$1. z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 + z_6 + z_7 + z_8 = 1.$$

Это соотношение вытекает из нормировки, так как z_i — доли.

2. Восемь ограничений вида $z_i \geq 0$, вытекающие из смысла z_i , $i = 1, 2, \dots, 8$.

3. Предположим, что в городе множества жителей, которые носят цилиндр, ходят с тросточкой и пьют только абсент, не являются пустыми. Это означает, что должны выполняться следующие неравенства:

$$\begin{aligned}
 z_1 + z_2 + z_3 + z_4 &\geq \omega, \\
 z_1 + z_3 + z_5 + z_7 &\geq \omega, \\
 z_1 + z_2 + z_5 + z_6 &\geq \omega.
 \end{aligned}$$

Значение ω выбрано так, чтобы все эти три неравенства были справедливы.

4. Еще два неравенства связаны с тем, что величины $P(b/a)$ и $P(c/b)$, входящие в посылку силлогизма бабушки, должны удовлетворять ограничениям $P(b/a) \geq \gamma$ и $P(c/b) \geq \gamma$, где γ подобрано таким образом, чтобы оба неравенства выполнялись. Если

условные частоты выразить через элементы таблицы сопряженности, то можно получить еще два неравенства:

$$\begin{aligned}(1-\gamma)z_1-\gamma z_2+(1-\gamma)z_3-\gamma z_4 &\geq 0, \\ (1-\gamma)z_1-\gamma z_3+(1-\gamma)z_5-\gamma z_7 &\geq 0.\end{aligned}$$

В этих ограничениях два параметра: ω и γ . Варьируя их, можно вводить различные нечеткие квантификаторы в силлогизм типа силлогизма бабушки или силлогизма Сумбурука.

Дадим некоторые необходимые пояснения к приведенной системе. Посылки силлогизма бабушки, как его сформулировал бармен, звучат так: «Из тех, кто носит цилиндр, почти все ходят с тросточкой» И «Из тех, кто ходит с тросточкой, почти все пьют только абсент». Заглавная буква И отделяет один член посылки от другого. Первый член посылки говорит о том, что $P(b/a)$ есть нечеткий квантификатор «почти все», а второй член посылки содержит аналогичное утверждение относительно $P(c/b)$. Если считать, что нечеткому квантификатору «почти все» на лингвистической шкале соответствует некоторый отрезок, то он имеет вид $[\gamma, 1]$, где $\gamma > 0$. Именно в этом смысл двух последних неравенств. В силлогизме бабушки дается оценка нечеткого квантификатора, соответствующего $P(c/a)$. Бабушка считает, что $P(c/a)$ соответствует квантификатор «многие». Сумбурук же считает, что $P(c/a)$ соответствует квантификатор «почти все». Значит, бабушка предполагает, что $P(c/a)$ на лингвистической шкале соответствует полуинтервал $[\beta, \gamma]$ и $\beta > 0$, а Сумбурук уверен, что это отрезок $[\gamma, 1]$. В этом и состоит их несогласие.

Их спор происходит в условиях некоторого «контекста». Этот контекст определяется величинами $P(a)$, $P(b)$ и $P(c)$, характерными для данного городка. В наших ограничениях контекст определяется параметром ω .

Силлогизмы бабушки и Сумбурука — это формальный вывод вида $A \Rightarrow B$. Здесь A — посылка силлогизма, общая для бабушки и Сумбурука, а B — заключение, которое у бабушки имеет вид « $P(c/a)$ есть нечеткий квантификатор «многие»», а у Сумбурука — вид « $P(c/a)$ есть нечеткий квантификатор «почти все»». Вывод силлогизм происходит в условиях контекстных ограничений, характеризуемых параметром ω .

Как разрешить спор? Выход один. Надо задать значения ω , γ и β и свести проблему к решению типовой задачи линейного целочисленного программирования, которая формулируется следующим образом. Найти целочисленные значения $z_i \geq 0$ ($i=1, 2, \dots, 8$), такие, что удовлетворяются шесть вышеприведенных неравенств, и такие, что минимум функции

$$P(c/a) = \frac{z_1 + z_2}{z_1 + z_2 + z_3 + z_4}$$

достигает своего максимума.

Если задача решена и минимум $P(c/a)$ есть α и этот минимум удовлетворяет неравенству $\alpha \geq \gamma$, то верен силлогизм бабушки. А если $\beta \leq \alpha < \gamma$, то верен силлогизм Сумбурука. Если же $\alpha < \beta$, то и бабушка, и Сумбурук ошиблись. Их силлогизмы будут ложными.

Значит, все зависит от того, как определены β , γ и ω . Пусть для определения этих значений мы опросили четырех людей $Ч_1$, $Ч_2$, $Ч_3$ и $Ч_4$. Их ответы сведены в табл. 6.

Таблица 6

	«Почти все»	«Многие»	«Не слишком редко»
$Ч_1$	0,98	0,4	0,2
$Ч_2$	0,95	0,45	0,1
$Ч_3$	0,95	0,6	0,1
$Ч_4$	0,96	0,6	0,2

Интерпретация чисел в таблице следующая. Опрашиваемый считает, что можно говорить «почти все», когда явление это встречается не реже, чем в 95 случаях из 100. Аналогично интерпретируются и остальные элементы таблицы. В первом столбце стоят значения γ , во втором β , а в третьем ω . Каждая строка может быть использована для решения задачи линейного программирования, которую мы сформулировали. Если решить возникающие четыре задачи, то выяснится, что силлогизм бабушки оказывается истинным во всех случаях, кроме третьего. В третьем случае прав Сумбурук, а бабушка ошибается.

Из сказанного ясно, что при исследовании нечетких силлогизмов (или *D-силлогизмов*, как их принято называть) необходимо анализировать области в пространстве параметров β , γ , ω , в которых будут истинны или ложны те или иные силлогизмы. В частности, для силлогизма бабушки доказывается следующее утверждение, которое естественно было бы назвать Теоремой бармена: «Силлогизм бабушки истинен только в тех точках параметрического пространства, в которых выполняется соотношение $\alpha \leq \max[0,2 - 1/\omega, 1 - (1 - \gamma)(\gamma + 1/\omega)]$ ». Но, наверное, ни бармен, ни Сумбурук не смогли бы так четко сформулировать нужный для разрешения их спора результат.

Рассуждая о споре в баре, мы незаметно сформулировали метод формального поиска оценок нечетких квантификаторов в схемах рассуждений. Ведь если вернуться к схемам предшествующего раздела, то становится ясным, что метод решения силлогизма бабушки вполне пригоден для поиска \succ_2 в заключениях этих схем.

Коллекция схем

Среди схем правдоподобных рассуждений встречаются не только те, которые мы рассмотрели и которые основаны на индуктивном выводе, аналогиях или нечетких квантификаторах. Многими исследователями предлагались и иные схемы. Их количество достаточно велико и продолжает расти. В этом разделе мы приведем (практически без комментариев) примеры схем, в основе которых лежат соображения, связанные с теорией вероятностей и аналогией, а также несколько схем, типичных для *теории возможностей*, активно развивающейся в последние годы ветви теории рассуждений.

Рассмотрим прежде всего схемы рассуждений, опирающиеся на свойства вероятностей, т. е. *вероятностные схемы рассуждений*.

- | | | |
|----|---|--|
| 1. | Вероятность $A \rightarrow B$ больше q | |
| | Вероятность A больше r | |
| | Вероятность B больше $\max(0, q + r - 1)$ | |
| 2. | Вероятность $A \rightarrow B$ больше q | |
| | Вероятность B меньше r | |
| | Вероятность A меньше $\min(1, 1 - q + r)$ | |
| 3. | Вероятность $A \& B$ больше q | |
| | Вероятность A больше r | |
| | Вероятность B больше $q \cdot r$ | |
| 4. | Вероятность $A \& B$ больше q | |
| | Вероятность A меньше r | |
| | Вероятность B меньше $\min(1, b/a)$ | |

Рассуждением, основанным, например, на схеме 2, может служить следующее: «С вероятностью, большей 0,7, при переохлаждении двигателя он не заводится с помощью стартера. Вероятность того, что он не заводится, меньше 0,5. Следовательно, вероятность того, что двигатель переохлажден, меньше $\min(1, 1 - 0,7 + 0,5)$, т. е. меньше 0,8». Так же нетрудно придумать примеры и для других схем вероятностных рассуждений.

Рассмотрим две схемы *рассуждения с учетом необходимых условий*.

- | | | |
|----|--|--|
| 5. | Необходимость $A \rightarrow B$ больше q | |
| | Необходимость A больше r | |
| | Необходимость B больше $\min(q, r)$ | |

$$\begin{array}{lcl}
 6. & \text{Необходимость } A \rightarrow B \text{ больше } q & \\
 & \text{Необходимость } B & \text{меньше } r \\
 \hline
 & \text{Необходимость } A & \text{меньше } \begin{cases} 1, q \leq r \\ r, q > r \end{cases}
 \end{array}$$

Значения q и r необходимости в этих схемах могут оцениваться в каких-то специальных единицах. Можно считать, например, что имеется лингвистическая шкала нечетких квантификаторов необходимости. Тогда q и r будут соответствовать некоторые интервалы или усредненные характеристики этих интервалов. В качестве примера рассуждения с учетом необходимых условий в соответствии со схемой 5 приведем следующее рассуждение: «Если у меня будет дача, то необходимо будет купить велосипед. Дача мне крайне необходима. Тогда покупка велосипеда для меня необходима».

Рассмотрим еще две схемы, в которых наряду с необходимостью учитывается возможность некоторых фактов, явлений или действий. Подобные схемы (как и две предшествующие) характерны для упоминавшейся теории возможностей.

$$\begin{array}{lcl}
 7. & \text{Необходимость } A \rightarrow B \text{ больше } q & \\
 & \text{Возможность } A & \text{больше } r \\
 \hline
 & \text{Возможность } B & \text{больше } \begin{cases} 0, q + r \leq 1 \\ r, q + r > 1 \end{cases}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl}
 8. & \text{Возможность } A \rightarrow B \text{ больше } q & \\
 & \text{Необходимость } A & \text{больше } r \\
 \hline
 & \text{Возможность } B & \text{больше } \begin{cases} 0, q + r \leq 1 \\ q, q + r > 1 \end{cases}
 \end{array}$$

Пример рассуждения, основанного на схеме 7: «Когда поднимается температура в реакторе, чрезвычайно необходимо понизить в нем давление. Возможность повышения температуры в реакторе высока. Следовательно, возможность того, что надо будет снижать давление в реакторе, либо больше нуля, либо больше той возможности, которая приписана событию повышения температуры». Альтернативный характер этого рассуждения обусловлен тем, что q и r при проведении его не были оценены количественно. Это не позволяет сделать окончательный альтернативный вывод в следствии.

Завершив раздел еще тремя схемами рассуждений, в которых учитывается возможная взаимосвязь A и B , а также некоторые соображения из рассуждений по аналогии.

9. $A \rightarrow B$
 B само по себе почти невероятно
 B истинно

 A весьма правдоподобно
10. $A \rightarrow B$
 B без A практически никогда не встречается
 B истинно

 A весьма правдоподобно
11. A весьма похоже на B
 C истинно
 $C \rightarrow B$

 A весьма правдоподобно

Каждый, кого интересуют схемы правдоподобных рассуждений, может без труда увеличить нашу коллекцию, например, заимствовав их из книги Д. Пойи, приведенной в списке литературы. Нам же необходимо двигаться дальше к тем человеческим схемам рассуждений, в которых активно используются знания, хранящиеся в его памяти, т. е. к рассуждениям, на которые опирается интеллектуальная деятельность человека и ее моделирование в современных интеллектуальных системах.

Глава пятая. ВЫВОД В БАЗЕ ЗНАНИЙ

Приходится порой простые мысли
 доказывать всерьез, как теоремы.
*О. Сулейменов. От января до
 апреля*

Что такое интеллектуальная система

Проблема моделирования человеческих рассуждений стала чрезвычайно актуальной в конце 70-х годов, когда в области искусственного интеллекта появились практически интересные системы. В последующие несколько лет возникла новая отрасль индустрии — производство интеллектуальных систем.

Причин скачкообразного развития работ по созданию систем искусственного интеллекта было несколько. Главнейшими из них можно считать три: необходимость создания ЭВМ пятого поколения, переход к роботизированным производствам и появление экспертных систем.

Как известно, ЭВМ пятого поколения отличаются от машин предыдущих поколений тем, что в них встроены функции программиста. По словесному заданию задачи, сформулированному на ограниченном профессиональном языке, эти ЭВМ способны сами построить необходимую рабочую программу (синтезировать ее из отдельных модулей, хранящихся в памяти ЭВМ) и выполнить ее. Для этого в состав ЭВМ должна входить база знаний, в которой хранится информация о закономерностях, присущих данной проблемной области, и методах решения характерных для нее задач. Кроме того, в состав ЭВМ должен входить специальный блок — решатель, в который встроены процедуры, подобные логическому выводу. С помощью решателя на основании сведений из базы знаний автоматически синтезируются нужные для пользователя программы. На рис. 29 приведена общая структура ЭВМ пятого поколения. Отметим, что процессор, показанный на рисунке, — это обычное арифметическое устройство с необходимой оперативной памятью, а внешняя память служит для хранения данных, нужных для решения задач. Таким образом, база знаний является новым специфическим блоком (как и система общения и решатель) в структуре ЭВМ пятого поколения.

В роботизированных производствах используются роботы третьего поколения. Они должны быть достаточно автономны в своих действиях и уметь выполнять необходимый набор операций в динамически изменяющихся условиях производства. Это означает, что они не могут довольствоваться набором встроенных в них программ жесткого поведения. Интеллектуальный уровень таких роботов должен быть достаточно высоким. В их систему управления необходимо включить специальный блок — планировщик, задачей которого является составление программы действий робота в тех реальных условиях окружающей среды, которые в данный момент наблюдаются рецепторной системой робота. Для планирования целесообразной деятельности робот третьего поколения должен обладать определенными знаниями о свойствах окружающей среды и методах достижения целей в ней. Эти знания хранятся в его базе знаний, показанной в общей структуре робота на рис. 30. Глядя на этот рисунок, легко установить аналогии со схемой, показанной на предыдущем рисунке. В ЭВМ пятого поколения и в роботах третьего поколения осуществляется планирование будущей деятельности: автоматический синтез программы, выполняемый решателем, и программа деятельности, создаваемая планировщиком. Оба блока работают на основе знаний, хранящихся в базе знаний.

Экспертные системы, структура которых показана на рис. 31, также содержат базу знаний и логический блок, функции которого похожи на функции решателя и планировщика. Задача

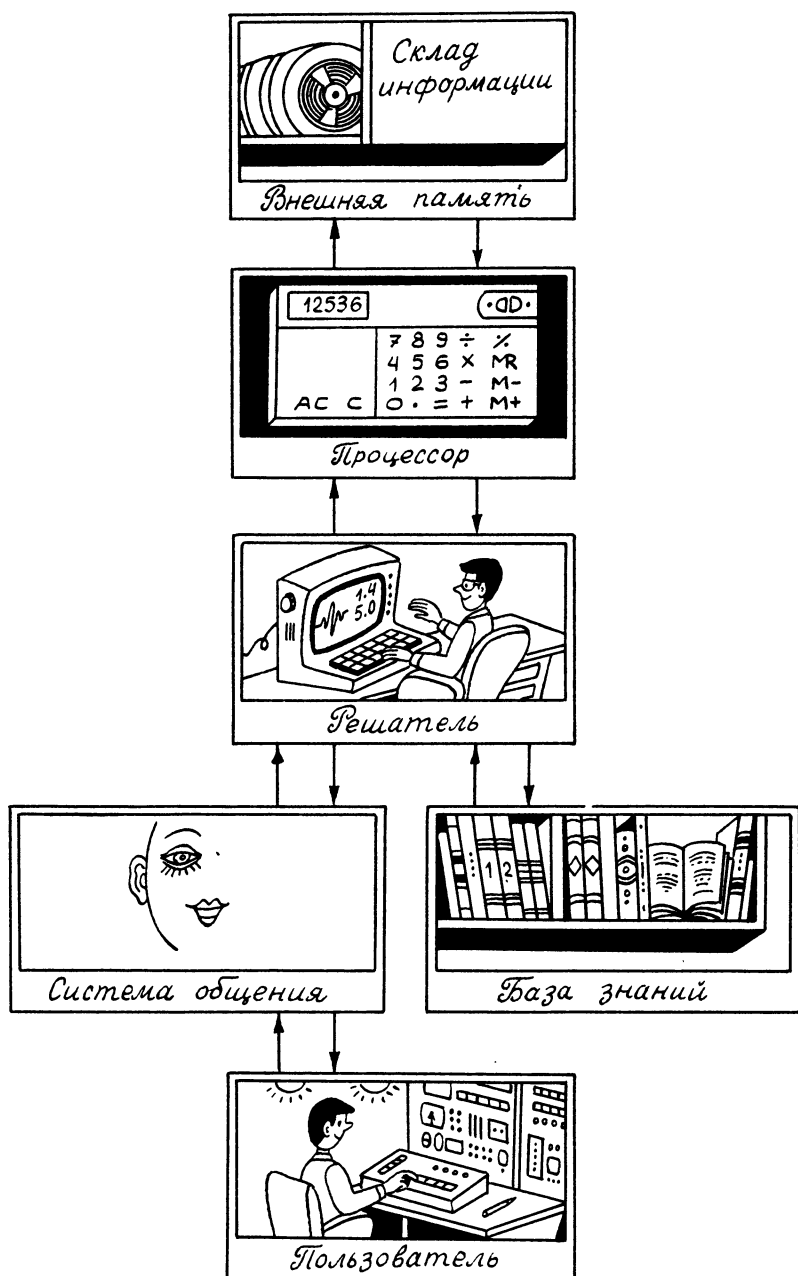


Рис. 29

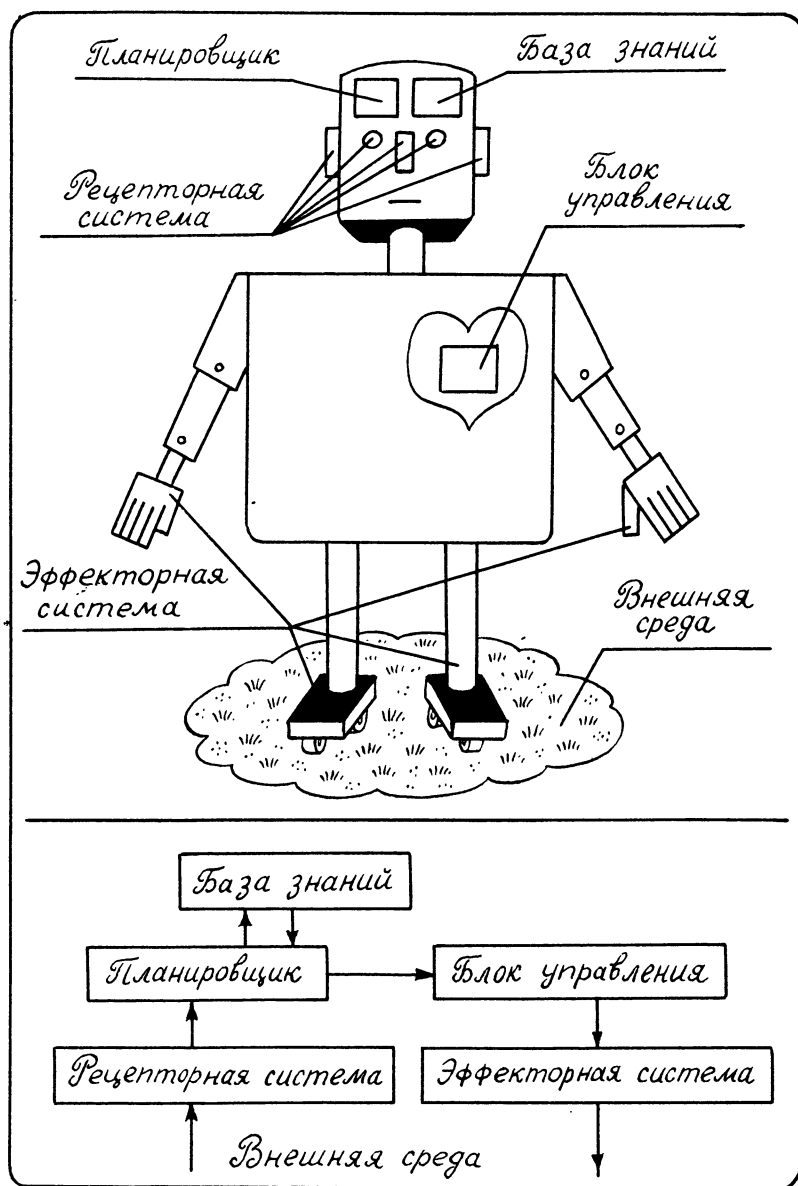


Рис. 30

логического блока состоит в поиске вывода ответа на входное сообщение, поступившее в систему. В базе знаний хранится необходимая информация о проблемной области, в которой ра-

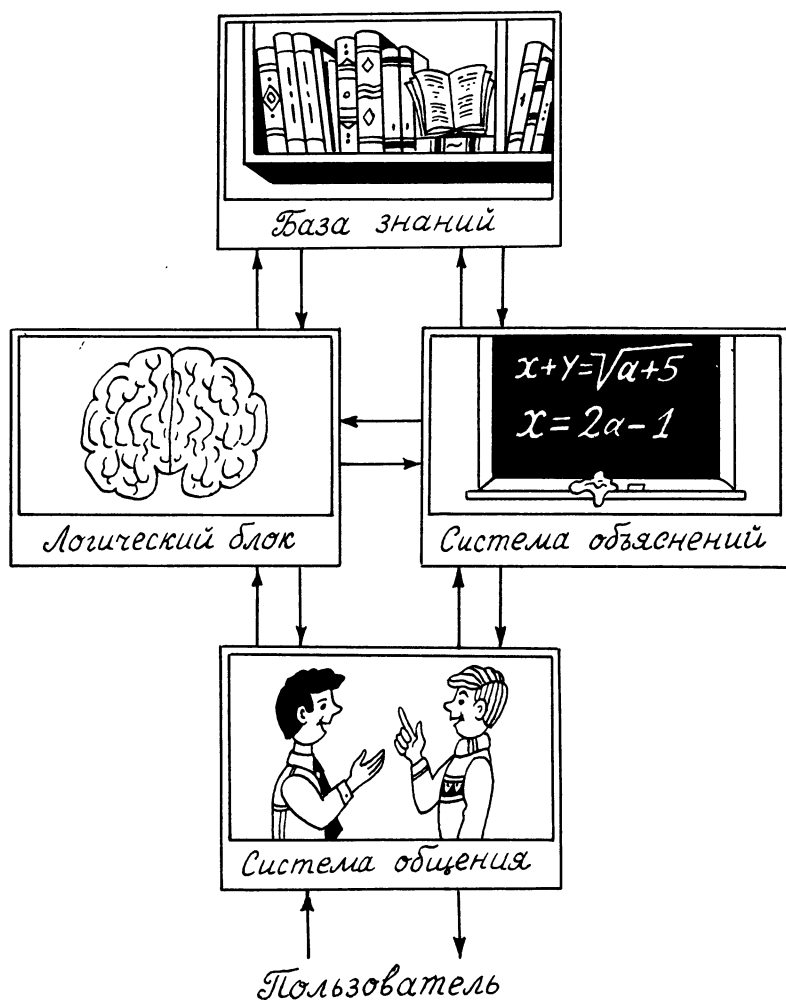


Рис. 31

ботаает пользователь. Его запросы поступают на профессиональном ограниченном естественном языке. В системе общения они преобразуются во внутреннее представление, с которым работает логический блок. Это внутреннее представление преобразуется в запрос к базе знаний. Если прямого ответа на запрос в базе нет, то логический блок осуществляет поиск косвенной информации, получаемой из хранящейся в базе с помощью достоверного или правдоподобного вывода. Система объяснения (это специфический блок, отличающий экспертные системы от других интеллектуальных систем) при необходимости по требованию

пользователя поясняет ему, как получена та информация, которая выдана в качестве ответа.

Мы хотим отметить, что ядром всех основных типов рассмотренных интеллектуальных систем являются база знаний и блок, осуществляющий вывод с помощью знаний (решатель, планировщик или логический блок). Этот вывод составляет основную процедуру, реализуемую в интеллектуальных системах.

Знания о внешнем мире могут иметь двоякую природу. Они могут содержать *декларативное описание* фактов и явлений внешнего мира, фиксирующее их наличие или отсутствие, а также основные связи и закономерности, в которые эти факты и явления входят. Но они могут содержать и *процедурные описания* того, как надо манипулировать с этими фактами и достигать целей, интересных для системы. Для описания знаний в интеллектуальных системах используются специальные *языки описания знаний* (ЯОЗ). Эти языки могут иметь различную природу. Нас будут интересовать (из-за темы данной книги) лишь языки логического типа. Простейшими видами таких ЯОЗ являются языки исчисления высказываний или исчисления предикатов вместе с теми процедурами вывода, которые для них известны. Однако в современных интеллектуальных системах такие языки используются довольно редко. Куда более распространены в них языки, основанные на *продукциях*. Продукции в общем виде можно записать в форме «Если..., то...». Сама по себе эта форма оказывается весьма характерной для фиксации знаний в различных областях человеческой деятельности. Вот несколько примеров текстов, взятых почти наугад из различных книг.

1. Если Академия заблагорассудит присоединить к себе ученого русского или иностранца, который не столько еще известен, чтобы мог требовать чести быть почетным членом, но своими полезными сочинениями или познаниями, или же ревностно и старанием, оказав полезные Академии услуги, обратил на себя отличное внимание, то она принимает его в корреспонденты, которые также разделяются на русских и иностранных. (Устав Санкт-Петербургской Академии наук 1836 года, № 85).

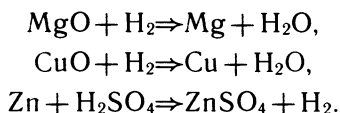
2. Если враг не сдается, то его уничтожают. Если кто к нам с мечем придет, то от меча и погибнет (Высказывания полководцев.)

3. Если температура в верхней зоне превысит 75°, то необходимо открыть задвижку № 7. (Из инструкции.)

Число подобных примеров можно увеличивать до бесконечности. Они показывают, что представление фрагментов наших знаний о внешнем мире и действиях в нем в виде продукций имеет весьма большое распространение. Часть специалистов по интеллектуальным системам считает, что запись знаний в виде систем продукций носит универсальный характер — любые знания можно записать в такой форме. Они приводят немало при-

меров, когда знания, внешне не имеющие продукционной формы, удастся перевести в систему продуктов. Вот один из таких примеров.

Химические реакции мы со школьных лет привыкли воспринимать в форме соотношений следующего вида:



И т. д.

Покажем, как подобные утверждения можно записать в продукционной форме. Введем шесть сортов базовых элементов. К первому сорту отнесем металлы: $Q_1 = \{\text{Cu}, \text{Mg}, \text{Zn}, \dots\}$. Ко второму — газы: $Q_2 = \{\text{H}_2, \text{O}, \text{N}, \dots\}$, к третьему — воду $Q_3 = \{\text{H}_2\text{O}\}$. Четвертый сорт составляют окиси: $Q_4 = \{\text{MgO}, \text{CuO}, \dots\}$. Пятый сорт образуют кислоты: $Q_5 = \{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HCl}, \dots\}$. Наконец, шестой сорт образуют соли: $Q_6 = \{\text{ZnSO}_4, \text{NaCl}, \dots\}$. Зададим два базовых отображения. Первое отображает элементы из Q_4 в элементы Q_1 . С его помощью для окисей выделяются основания. Второе отображение сопоставляет с именами веществ (под веществом будем понимать металл, газ, окись, воду, кислоту или соль) их химические формулы. Введем еще два оператора, которые будем использовать в продукциях: $A(q)$ и $E(q)$. Оператор $A(q)$ добавляет в базу знаний q , а оператор $E(q)$ убирает q из базы.

Выпишем первый тип продукций для описания химических реакций.

Если реакция имеет вид $x + y \Rightarrow z + v$ и	
x есть окись с основанием w	и
w есть металл	и
y есть газ	и
формула для y есть H_2	
то z есть металл с формулой w	и
v есть вода с формулой H_2O	и
$A(z), A(v), E(x), E(y)$.	

Эта продукция годится для описания двух из приведенных выше химических реакций. Для описания третьей реакции используем другой тип продукций.

Если реакция имеет вид $x + y \Rightarrow z + v$ и	
x есть металл с формулой Zn	и
y есть кислота с формулой H_2SO_4	
то z есть соль с формулой ZnSO_4	и
v есть газ с формулой H_2	и
$A(z), A(v), E(x), E(y)$.	

Вспомним программу «Логик-теоретик», которую мы обсуждали в третьей главе. Она была основана на том, что при доказательстве равенства двух выражений в исчислении выска-

званий использовалось понятие различия в двух выражениях и подбирались такие преобразования, которые эти различия устраняли. Для соотнесения различий с преобразованиями была построена таблица, в которой указывалось, какие преобразования какие различия устраняют. От этой таблицы чрезвычайно легко перейти к продукционной системе. Если i есть номер различия, а F^* — одно из преобразований, то запись $i \Rightarrow F^*$ соответствует утверждению, что при наличии различия i можно применить преобразование F^* .

Два последних примера показывают, что продукциями являются не только те выражения, которые имеют форму «Если..., то...», но и многие другие выражения. К ним, по сути, сводятся все каузальные, т. е. причинно-следственные утверждения, подобные тем, которые мы обсуждали в предшествующей главе. К ним же относятся и любые схемы вывода типа «посылки — следствие». Замкнутые системы правил типа законов короля Павзолия, описанных в романе Пьера Луиса «Приключения короля Павзолия» *, также могут рассматриваться как особая форма продукций. Даже такие утверждения, как знаменитое «Если звезды зажигают, значит, это кому-то нужно» (В. Маяковский), можно рассматривать как продукцию.

Продукционные системы получили при представлении знаний в последнее время наибольшее распространение. Поэтому посвятим им специальный раздел нашей книги.

Продукционные системы

Анализ структур ЭВМ пятого поколения, роботов автономного типа и экспертных систем приводит к обобщенной структуре, показанной на рис. 32. Эта схема при условии, что система R представляет собой продукционную систему, может послужить основой для классификации *типов продукций*. На ней показано взаимодействие «рассуждающей» системы с внешним миром и базой знаний, из которой рассуждающая система может черпать накопленную ранее информацию о закономерностях этого мира и его состояниях. Из внешнего мира в рассуждающую систему приходит сиюминутная, текущая информация о наблюдаемых в этом мире фактах и явлениях. А из базы знаний поступает информация, имеющая более фундаментальное значение. Она может описывать законы внешнего мира, правила действий в нем, целевые структуры или ожидаемые отклики внешнего мира на те или иные воздействия на него. В памяти рассуждающей системы хранится текущая информация, связанная с ходом рассуждений. Со временем она либо исчезает, либо пере-

* Король Павзолий в своей стране имел свод законов, состоящий всего из двух статей: 1. Никто, никогда, никому и ни при каких обстоятельствах не должен делать зла. 2. В остальном каждый может жить, как ему угодно.

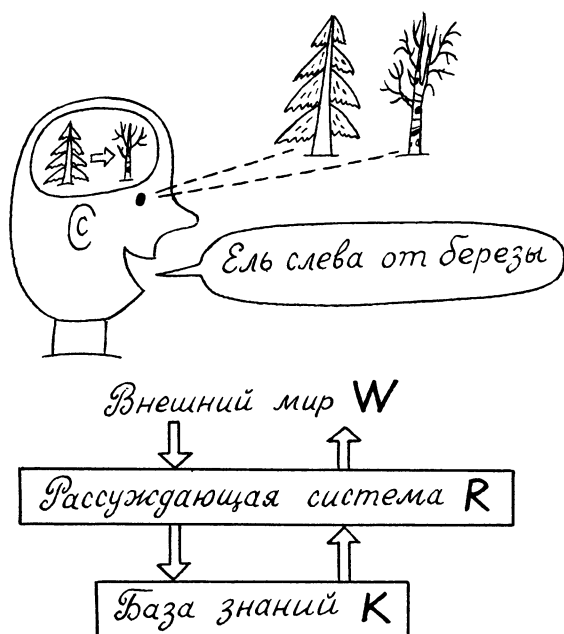


Рис. 32

дается для хранения в базу знаний. Последнее происходит лишь в том случае, когда в процессе рассуждений появилась информация, которая может оказаться полезной для рассуждающей системы в будущем.

Теперь приступим к классификации продукций.

1. Продукции типа $A_W \Rightarrow B_R$. В левой части продукции стоит информация, поступившая из внешнего мира, а в правой — сведения о вытекающих из этой информации изменениях в рассуждающей системе. Эти изменения сказываются на ходе рассуждений. Например, рассуждая утром о выборе места воскресного отдыха, вы вдруг слышите по радио сообщение о том, что в середине дня ожидается сильная гроза. Это сообщение и есть A_W . В ответ на него может измениться весь ход ваших рассуждений о планах отдыха. Сразу же будут отброшены варианты, связанные с пребыванием за городом на открытом воздухе, а другие варианты приобретут куда больший вес. Это изменение предпочтительности вариантов отдыха характеризуется правой частью продукции B_R . Сама продукция для данного случая могла бы выглядеть, например, следующим образом: «Если на улице идет дождь или гроза или они ожидаются в течение дня, то вместо прогулки, лучше пойти в музей или кино».

В качестве A_w может выступать не только некоторое сообщение о W или некоторый факт, имеющий место во внешнем мире, но и прямое воздействие из внешнего мира на рассуждающую систему. Но что бы ни стояло в левой части продукции $A_w \Rightarrow B_w$, в ее правой части стоят некоторые операторы, меняющие ход самих рассуждений.

2. Продукции типа $A_w \Rightarrow B_k$. Такие продукции отражают ситуацию передачи некоторого сообщения из внешнего мира для запоминания в базе знаний. Примером продукции такого типа может служить приказание, которое отдает командир разведчику: «Все, что увидишь интересного в окрестности переправы, запомни, а потом передай через связного». Это приказание можно переписать в стандартной продукционной форме: «Если F есть интересный факт, относящийся к району переправы, то F надо запомнить и передать со связным». При работе с продуктами такого типа рассуждающая система выступает в роли отделения связи, передающего сообщение от одного абонента другому. Правда, в этом отделении связи может происходить перлюстрация корреспонденции. Рассуждающая система может при необходимости воспользоваться информацией о A_w и B_k для своих целей.

3. Продукции типа $A_k \Rightarrow B_w$. В этом случае рассуждающая система также выступает в виде отделения связи. Только теперь выдача сообщения происходит из базы знаний во внешний мир. Примером возникновения подобной продукции может служить обнаружение в базе знаний противоречивой информации. Пусть некто X знает, что у его приятеля Y пятеро детей. Но встретившийся X знакомый Z утверждает, что по его сведениям у Y не пятеро детей, а трое. Такое противоречие может заставить «рассуждающую систему X » реализовать продукцию, в которой A_k характеризует факт наличия противоречивой информации о числе детей у Y , а B_w — некоторое действие, которое X предпринимает в связи с этим. Например, B_w может соответствовать разговору X по телефону с Y , в ходе которого X попытается выяснить истинное количество детей у Y .

4. Продукции типа $A_k \Rightarrow B_k$. Они соответствуют тому, что некоторый факт, полученный рассуждающей системой, передается на хранение в базу знаний. Интерпретация продукции такого типа очевидна.

5. Продукции типа $A_k \Rightarrow B_k$. Подобно продукциям предшествующего типа эти продукции описывают обмен информацией при работе рассуждающей системы. Необходимая для рассуждений информация выбирается из базы знаний и передается для обработки в рассуждающую систему.

6. Продукции типа $A_w \Rightarrow B_w$. Эти продукции обычно называют продуктами непосредственного отклика. Левая их часть A_w описывает некоторую наблюдаемую ситуацию во внешнем мире

или воздействие внешнего мира на рассуждающую систему. Правая часть продукции описывает действие, которое поступает от системы в окружающий ее мир. Выполнение подобных продуктов чем-то напоминает мгновенный отклик, возникающий при рефлекторных процессах (например, при отдергивании руки, когда она касается чего-то горячего). Рассуждающая система в этих случаях просто не успевает срабатывать. Она лишь транслирует информацию об A_w и B_w адресатам.

7. Продукции типа $A_R \Rightarrow B_w$. Они описывают те воздействия на внешний мир, которые порождает результат работы рассуждающей системы. «Подумай, прежде чем делать» — мудрый совет, призывающий того, к кому он обращен, воспользоваться продукцией данного типа, а не продукцией непосредственного отклика.

8. Продукции типа $A_R \Rightarrow B_R$. Это внутренние продукции рассуждающей системы. Они описывают промежуточные шаги процесса вывода и не влияют непосредственно на содержимое базы знаний и состояния внешнего мира. Эти продукты описывают единичные шаги многошаговых процессов рассуждений.

9. Продукции типа $A_K \Rightarrow B_K$. Они описывают процедуры преобразования знаний в базе знаний: обобщение знаний, получение новых знаний из ранее известных с помощью логического вывода, установление закономерностей между знаниями на основании обработки сведений о единичных фактах, хранящихся в базе знаний, и т. п. Рассуждающая система в этом случае используется лишь в качестве инструмента, с помощью которого происходит изменение состояния базы знаний.

Сказанное наводит на мысль, что продукты могут иметь весьма различное значение. В качестве их левых и правых частей могут выступать и некоторые утверждения, и действия. Возможны не только те интерпретации, которые мы привели выше, но и ряд других. Например, продукты типа $A_w \Rightarrow B_K$ можно трактовать как способ описания шагов общения между пользователем и системой в диалоговом режиме. Тогда A_w будет интерпретироваться как вопрос пользователя, а B_K — как ответ системы. При смене спрашивающего и отвечающего надо использовать для описания шага диалога продукты типа $A_K \Rightarrow B_w$.

Продукционной системой будем называть любую совокупность продуктов, в которую могут входить продукты любого из перечисленных выше типов.

Часто вместо продуктов типа $\alpha \Rightarrow \beta$ рассматривают более сложные конструкции. В общей форме продукты имеют вид

$$i; P, A \Rightarrow B, Q.$$

Здесь $A \Rightarrow B$ — обычная продукция «Если ..., то ...», которая носит название *ядра продукции*. Элемент P характеризует внеш-

ние условия или *условия применимости* продукции, определяемые факторами, не входящими непосредственно в A , например целями, которые стоят перед рассуждающей системой. Условия P позволяют из всех продукций, у которых в левой части ядра стоит A , отбирать нужную часть продукций.

Элемент Π характеризует *сферу проблемной области* базы знаний или *предусловия применимости* продукции. Эти предусловия ничем не отличаются от P , но выделяют подсистемы продукций на ранг выше тех, которые выделяют условия. Предусловия задают формальную систему, в рамках которой будут проводиться логические рассуждения. Поясним эту мысль на примере. В обычном мире лошади не летают. Поэтому продукция «Если x лошадь, то она летать не может» в обычном мире всегда имеет место. Но если мы от обычного мира перейдем к миру греческих мифов, то продукция «Если лошадь есть Пегас, то она летает» станет верной. В мире же русской сказки продукция «Если лошадь есть Конек-Горбунок, то она летает» принимается без всякой критики. В приведенном примере предусловия Π должны развести между собой обычный мир, мир греческих мифов и мир русской сказки.

Наконец, Q характеризует *постусловия* продукции, указывающие на те изменения, которые необходимо внести в базу знаний и в систему продукций после реализации данной продукции. Операторы $A(q)$ и $E(q)$, рассмотренные при описании химических реакций, являются примером таких постусловий.

Однако в общем виде продукции встречаются весьма редко. Предусловия характерны лишь для больших по объему и разнообразных по составу баз данных и знаний, а постусловия — для планирующих систем роботов, когда используются продукции типа $A_R \Rightarrow B_W$.

Если производственная система такова, что на некотором шаге процесса может быть реализована не одна продукция, а несколько, то возникает ситуация, в которой необходимо уметь управлять ходом процесса. Эта ситуация настолько важна и принципиальна, что мы посвятим ее анализу специальный раздел. Именно в этом анализе раскрываются особенности использования продукций для моделирования рассуждений.

Управление выводом

Несколько изменим предшествующий рисунок. Будем считать, что информация из внешнего мира W поступает в базу знаний K , минуя рассуждающую систему R . Это позволит нам рассматривать лишь продукции типа $A_K \Rightarrow B_K$. Не будем пока учитывать предусловия и условия. Все условия применимости продукций сосредоточим в A , а B будем трактовать как внесение некоторых изменений в базу знаний. Таким образом, как усло-

вия активизации продукции, так и результат ее выполнения связаны с информацией, хранящейся в базе знаний. Будем считать также, что интеллектуальная система функционирует в некоторые дискретные моменты времени t . В эти моменты времени в базу знаний из внешнего мира может поступать некоторая информация. В эти же такты времени происходит проверка выполнения условий срабатывания продукции.

Последнее допущение позволяет ввести понятие *состояния базы знаний* в момент времени t , которое будем обозначать d_t . Одно состояние может смениться другим по двум причинам. В момент $t+1$ из внешнего мира в базу знаний может прийти новая информация. Или в этот момент времени в базу знаний будет занесена новая информация, возникающая в результате срабатывания некоторой продукции.

Если в некоторый момент t состояние d_t таково, что в нем удовлетворяются условия для некоторого множества продукции, то все они образуют *фронт готовых продукции*. Основная задача управления состоит в выборе из этого фронта очередной продукции для исполнения.

Для выбора важен вопрос о влиянии порядка выбора на окончательный результат рассуждений. Если имеются две продукции и ситуация такова, что изменение состояния базы знаний, которое может возникнуть при срабатывании одной из них, сказывается на выполнимости условий срабатывания для другой, то такие продукции естественно назвать зависимыми. Если две продукции независимы, то порядок их выбора из фронта не может сказаться на результате рассуждения. Поэтому интерес представляют лишь зависимые продукции.

Как осуществлять выбор в этом случае? Для пояснения складывающейся ситуации рассмотрим следующий пример. Только что кончилась лекция, наступил двухчасовой перерыв и группа студентов обсуждает проблему: куда сейчас пойти? В имеющихся условиях есть две альтернативы: пойти в кино (но никто не знает, какая там идет картина) или пойти в кафе-мороженое (но ни у кого нет уверенности, что кафе работает). Ясно лишь одно, что выбор одного варианта исключает выбор другого, так как кино и кафе-мороженое находятся в разных концах города. Убедившись, что кафе не работает, нет надежды успеть в кино, а обнаружив, что в кино ничего интересного не идет, нет надежды поесть мороженое. В условиях, когда никто из студентов не имеет никакой информации о кино и кафе, единственным разумным способом выбора является известное бросание монетки, т. е. случайный выбор. Но если в момент обсуждения появляется их сокурсник, который говорит, что только что был в кино и ушел, не досмотрев скучную картину (тем самым он меняет состояние «баз знаний» остальных студентов), то выбор активизируемой «продукции», соответствующей

щей программе достижения кафе-мороженого, станет однозначным.

Описанная ситуация является в некотором смысле экстремальной. Один выбор исключает другой. Чаше это не так — после неудачного выбора можно вернуться к альтернативному выбору и попробовать другой вариант. Чтобы так можно было делать в процессах рассуждений, необходимо сохранять состояние базы знаний в момент выбора. Для реализации этого при принятии решения об альтернативном выборе можно, например, запоминать не всю информацию, имеющуюся в данный момент в базе знаний, а только ту ее часть, которая меняется в результате применения продуктов из выбранного варианта. Если вариант окажется удачным, то новое состояние базы знаний будет сформировано на основе полученной в ходе проверки варианта информации. Если попытка окажется безрезультатной, то произойдет возвращение к состоянию базы знаний в момент выбора, а информация, полученная в ходе плохого варианта, сотрется из памяти. Практически все системы моделирования рассуждений в интеллектуальных системах используют этот прием, который называется «бэктрекинг».

Но в любом случае остается проблема выбора продукции из готового фронта. Психологов весьма интересует вопрос, как это делают люди. К сожалению, однозначного ответа на этот вопрос пока нет. При экспериментах с программой «Логик-теоретик» ее авторы проводили сравнение работы программы с тем, как ведут себя в многочисленных возникающих по ходу доказательства случаях альтернативного выбора люди. В частности, последовательность, в которой перечислены различия в формах, используемая для выбора преобразований в программе «Логик-теоретик», отражает экспериментально наблюдаемые приоритеты, демонстрируемые людьми.

Отсутствие точных психологических данных о способах выбора продукции из фронта людьми привело к тому, что в интеллектуальных системах стали использовать эвристические соображения, которые могут и не отражать особенности человеческих рассуждений. Так, весьма популярной стратегией выбора является принцип «стопки книг». Этот принцип описывает процедуру наиболее быстрого (в среднем) способа поиска нужной книги в стопке книг. Если каждый раз, использовав некоторую книгу, класть ее в стопку сверху, то часто используемые книги постепенно сосредоточатся в ее верхней части, а внизу будут лежать те, которые почти никогда не требовались. Если при поиске очередной нужной книги начинать просмотр стопки сверху, то она, как правило, встретится довольно скоро. Если продукции во фронте будут упорядочены по частоте их предшествующего успешного использования и активизироваться

будет первая продукция этого фронта, то принцип стопки книг будет реализован.

У этого принципа есть определенный аналог в процедурах работы с информацией у человека. Если потребовать от испытуемых «не задумываться», говорить первое, что «приходит в голову», то на просьбу «Назовите поэта XIX века», как правило, будет дан ответ «Пушкин», а на просьбу «Назовите плодовое дерево» в подавляющем большинстве случаев ответ «Яблоня». Это, конечно, справедливо для испытуемых, живущих в средней полосе СССР. В других местах и субкультурах возникнут свои приоритетные ответы. Человек как бы всегда имеет наготове, «на языке», подходящие отклики на часто встречающиеся ситуации.

Другой эвристический прием, заставляющий вспомнить герменевтические рассуждения, состоит в проверке в первую очередь продукции с самым длинным условием A . Такой прием обосновывается принципом «частное важнее общего» или «исключение важнее правил».

Но такие априорные внешние способы задания продукций, выбираемых из фронта, не всегда оправданы. В большинстве случаев тот или иной выбор зависит от текущего состояния базы знаний d_i и того реального набора продукций, который образует в этот момент времени фронт. Для описания выбора при таких условиях в интеллектуальных системах часто используют так называемые *метапродукции*. Они вводятся в систему продукций специально для того, чтобы осуществлять приоритетный выбор тех или иных продукций из фронта в зависимости от предыстории развития процесса рассуждений, состава фронта и состояния базы знаний. Вот пример такой метапродукции, используемой в американской экспертной системе MYCIN — TEIRESIAS, диагностирующей инфекционные заболевания.

Если инфекция есть pelvic-abscess и
имеются продукции, входящие в состав фронта, в кото-
рых в условиях A упоминается enterobacteriaceae и
в составе фронта имеются продукции, у которых в ус-
ловиях A упоминается grampos-rods,
то продукции, у которых в A имеется enterobacteriaceae,
следует активизировать раньше, чем продукции, содержа-
щие в условии A grampos-rods.

Мы специально не расшифровываем латинские термины, так как они совершенно не мешают понять суть работы метапродукции в данной экспертной системе.

Довольно часто возможность применения той или иной продукции зависит не только от того, какие именно продукции входят во фронт (как в только что приведенном примере метапродукции), но и от того, какие продукции в этот фронт не

вошли. Другими словами, влияние может оказывать как «положительный», так и «отрицательный» контекст, в котором происходит выбор продукции из фронта готовых продуктов.

Когда имеется выбор из нескольких продуктов, то их можно выполнять последовательно, альтернативно или параллельно. Если считать, что в период реализации продуктов из фронта время как бы останавливается (т. е. сохраняется неизменной база знаний со своим состоянием d_i), а влияния действий продуктов друг на друга нейтрализуются тем, что все они работают в автономных участках памяти, не искажая информации в базе знаний, то порядок их выполнения роли не играет. Лишь после реализации всех продуктов надо выбрать те из них, которые сформируют новый фронт (с учетом их возможного взаимодействия). Однако и эта задача оказывается весьма непростой и требует каких-то эвристических соображений.

Другой проблемой управления реализацией системы продуктов является поиск наиболее эффективных способов проверки выполнения условий A в множестве продуктов на текущем состоянии базы знаний d_i . При большой базе знаний эта переборная процедура весьма неэффективна. Каков аналог данного процесса у человека?

У психологов бытует термин «поле активного внимания». В это поле попадает та часть хранимой в памяти человека информации, которая обуславливает его текущие размышления или рассуждения. Как бы лучом прожектора эта информация выхватывается из огромного хранилища всевозможных знаний. Поле активного внимания скользит по памяти, не всегда подчиняясь нашему желанию. Как порой мучительно трудно выудить нужную информацию (например, вспомнить фамилию человека, лицо которого вам явно знакомо), как, отчаявшись, мы перестаем об этом думать, а оно «само, без видимых усилий» как бы всплывает из темных, неосвещенных глубин памяти.

Нечто аналогичное применяют специалисты в области баз знаний, вводя механизм *окна активизации знаний*. С помощью этого «окна» активизируются определенные фрагменты базы знаний. Эти фрагменты используются для проверки условий в продукциях. Для вычленения фрагментов удобно воспользоваться условиями P , активизирующими ту область продукционной системы, которая оказывается тесно связанной с фрагментом знаний, попавшим в окно активизации знаний. Постусловия позволяют управлять перемещением окна по полю памяти, а также его размерами. Управлять «окном» могут и специальные метапродукции, подобные тем, которые используются для приоритетного выбора из фронта готовых продуктов.

Мы рассматривали до сих пор лишь такие продукты, в которых B обязательно следовало при активизации продукции. Однако весьма часто продукты приходится использовать в

условиях правдоподобного вывода. Собственно говоря, правдоподобные схемы рассуждений из четвертой главы уже демонстрируют продукции такого сорта. Тем не менее приведем еще один пример, взяв его из уже упоминавшейся экспертной системы MYCIN. Поскольку в ряде случаев система не может выдать рекомендацию со стопроцентной уверенностью, то она выдает ее с оценкой правдоподобности, о которой мы говорили в предшествующей главе.

Если инфекция, которая требует терапии, есть менингит и
пациент имеет признаки серьезных кожных инфекций и
или инфекций мягких тканей и
микроорганизмы не окрашены по Грэму на пробах и
культуры и
тип инфекции бактериальный,
то микроорганизмы, которые могут вызывать инфекцию с правдоподобностью 0,75, есть *staphylococcus coadros* или
с правдоподобностью 0,5 есть *streptococcus-group-a*.

При работе с правдоподобными продуктами применяются приемы, аналогичные описанным в четвертой главе. Вместо числового значения оценки правдоподобия в таких продукциях могут встречаться нечеткие квантификаторы, как в D-силлогизмах.

Кроме обычных приемов вывода (как достоверного, так и правдоподобного) для систем продуктов могут использоваться и иные способы получения результатов рассуждений. Один из них — это получающий в последнее время распространение вывод на семантической сети.

Вывод на семантической сети

Семантические сети — это наиболее общая модель представления знаний об окружающем интеллектуальную систему мире и способах действий в нем. В самом общем виде семантическая сеть есть множество вершин, каждая из которых соответствует определенному понятию, факту, явлению или процессу, а между вершинами заданы различные отношения, изображаемые дугами. Дуги снабжены именами или описаниями, задающими семантику отношений. Вершины также помечены именами или описаниями, содержащими нужную для понимания семантики вершины информацию.

Прибегнем, как всегда, к наглядному примеру. Известный роман Э. Хемингуэя «Острова в океане» начинается так:

«Дом был построен на самом высоком месте узкой косы между гаванью и открытым морем. Построен он был прочно, как корабль, и выдержал три урагана. Его защищали от солнца высокие кокосовые пальмы, пригнутые пассатами, а с океанской стороны крутой спуск вел прямо от двери к белому песчаному пляжу, который омывался Гольфстримом».

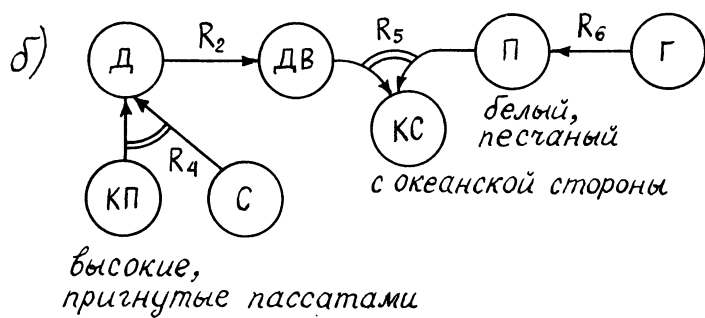
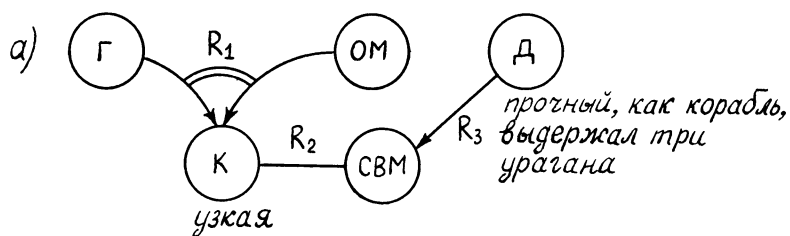


Рис. 33

Попробуем отобразить информацию, содержащуюся в этом отрывке, в виде семантической сети. Введем систему понятий, которым для удобства присвоим имена по первым буквам соответствующего слова текста: Д — дом, СВМ — самое высокое место, К — коса, Г — гавань, ОМ — открытое море, КП — кокосовые пальмы, С — солнце, КС — крутой спуск, ДВ — дверь, П — пляж, Г — Гольфстрим. Теперь будем постепенно строить семантическую сеть, вводя нужные отношения и описания. На рис. 33, а показан фрагмент семантической сети, соответствующей первым двум фразам текста. Отношение R_1 есть тернарное отношение «быть между». Двойная дужка на нашем рисунке объединяет между собой обе части этого соотношения. «Узкая» входит в описание понятия «коса». Отношение R_2 есть отношение «принадлежать». Таким образом фиксируется тот факт, что СВМ принадлежит «косу». Отношение R_3 интерпретируется как «находиться на», а текст около вершины, соответствующей понятию «дом», принадлежит описанию этой вершины. На рис. 33, б показан фрагмент сети, соответствующий остальной части текста. Отношения, использованные здесь, интерпретируются следующим образом: R_4 — «защищать от», R_5 — «соединять», R_6 — «омывать». Полное описание текста в виде семантической сети получится, если в построенных двух фрагментах объединить вершины, соответствующие понятию «дом».

При переходе имеется определенный произвол в представлении текста, касающийся формирования описаний. Те или иные сведения можно отражать прямо в структуре сети, а можно и в описаниях. Например, в нашем случае не было введено понятие «ураган» или понятие «пассат». Сведения о них содержатся в описаниях. Но можно было бы ввести для них специальные вершины и отразить эти понятия в структуре семантической сети.

В зависимости от того, какую смысловую нагрузку несут отношения в семантической сети, их можно классифицировать по различным типам. Если они, например, отражают каузальные отношения, то мы имеем дело с семантическими сетями, называемыми *сценариями*, а если эти отношения отражают связи по включению (родовидовые, отношения «состоять из», отношения «элемент-класс» и т. п.), то такие семантические сети будут задавать *классификации*. Если же, наконец, интерпретация отношений в сети такова, что они связывают между собой аргументы и значения функции, вычисляемые при задании значений аргументов, то такие семантические сети принято называть *вычислительными моделями*. В последнем разделе третьей главы мы также говорили о семантических сетях, выделив из них тот класс сетей, который связан с задачей вывода. Именно о таких сетях и будем говорить далее, а интересующих-

ся аппаратом семантических сетей в более широком объеме отсылаем к источникам, которые указаны в комментарии к последнему разделу третьей главы.

Вывод на семантической сети можно представить в продукционной системе, в которой каждая продукция имеет вид $Fr_1 \Rightarrow Fr_2$. Слева и справа в этой продукции стоят фрагменты семантической сети. В зависимости от типа продукции она может описывать изменения в базе знаний или результаты промежуточных шагов вывода в решателе. Но нас эти тонкости интересовать сейчас не будут, так как наша цель — описание самой процедуры вывода на семантической сети. В базах знаний реализация продукции $Fr_1 \Rightarrow Fr_2$ обычно называется процедурой *поиска по образцу*. В качестве образца при поиске выступает фрагмент Fr_1 . В зависимости от типа продукции ее выполнение может быть различным. Например, если в базе знаний найден фрагмент Fr_1 , то он удаляется из базы и в нее добавляется новый фрагмент Fr_2 . Или если в базе знаний обнаружен фрагмент Fr_1 , то в решателе утверждению, описываемому фрагментом Fr_2 , приписывается значение «истина». Возможны и иные варианты. Пусть для определенности тип продукции таков, что она описывает поиск в базе знаний некоторого фрагмента Fr_1 и при обнаружении его исключает соответствующую информацию из базы, добавляя в нее информацию, описанную в Fr_2 .

На рис. 34 показана такая продукция. Знак вопроса означает, что в качестве имени вершины может выступать любое из тех, которые имеются в базе знаний. Но если знак вопроса заменен какой-то вершиной, то в правой части продукции появляется такое же имя. Исходное состояние базы знаний показано на рис. 35, а. Для облегчения дальнейших рассуждений будем

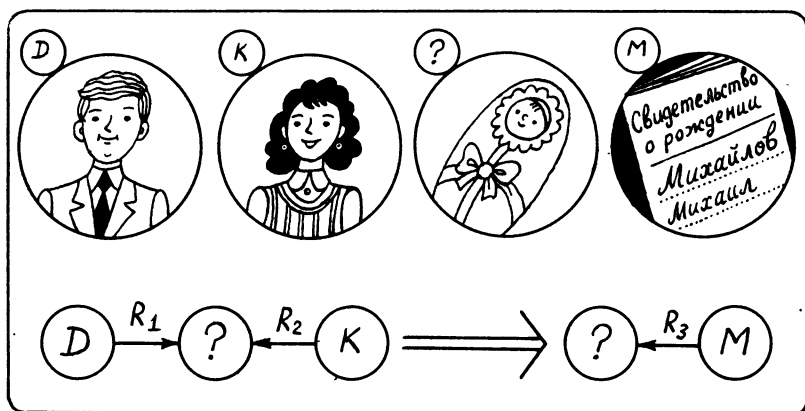


Рис. 34

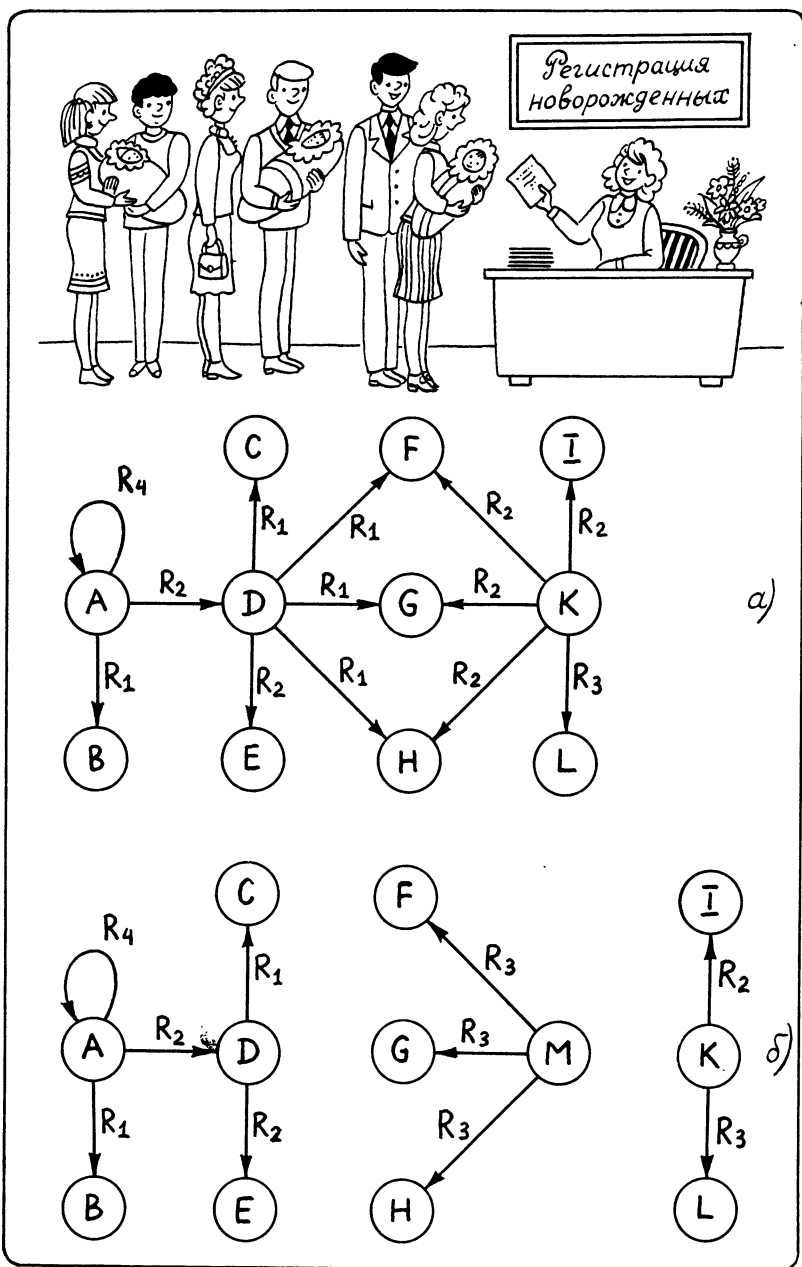


Рис. 35

считать, что вершины семантической сети соответствуют некоторым персонажам, отношение R_1 имеет смысл «быть отцом», отношение R_2 — «быть матерью», а отношение R_3 — «носить фамилию». Тогда продукция, показанная на рис. 34, может интерпретироваться следующим образом: «Если в базе знаний есть сведения о детях, для которых D является отцом, а K — матерью, то эту информацию из базы надо убрать, добавив в нее информацию о том, что все эти дети носят фамилию M ».

Обработка продукции идет следующим образом. В семантической сети, показанной на рис. 35, а, ищутся вершины с именами D_1 и K . Если таких вершин (или одной из них) в базе нет, то поиск прекращается и выдается сигнал о неудаче поиска. Если вершины найдены, то из вершины D возбуждаются все отношения с именем R_1 , а из вершины K — все отношения с именем R_2 . Так возникают две волны возбуждения. Первая волна возбуждает вершины C , F , G и H , а вторая — вершины F , G , H и I . Волны встречаются лишь в вершинах F , G и H . В вершинах C и I возбуждение угасает. На замещение знака «?» в продукции претендуют вершины с именами F , G и H . Эти же имена возникают в правой стороне продукции. На рис. 35, б показано результирующее состояние базы знаний после того, как продукция завершила свою работу.

В более сложно организованных образцах для поиска могут присутствовать условия применимости продукций, о которых говорилось при обсуждении общей формы продукции. Например, образец мог бы иметь вид «Если имеет место Fr_1 , то Fr_2 , иначе Fr_3 ». Образцы такого типа задают альтернативные выводы в базах знаний. О них упоминалось в конце третьей главы.

Если при выводе на семантической сети фрагмент Fr_2 добавляется в базу знаний без выбрасывания Fr_1 , то говорят о процедурах *пополнения знаний*. Человек в своей жизнедеятельности часто выполняет подобные процедуры, используя те знания о закономерностях внешнего мира, которые ему известны. Если, например, имеется текст «Поезд подошел к перрону. Через несколько минут Андрей уже обнимал Татьяну. Такси быстро домчалось их до дома, и Татьяна почувствовала, что длительное путешествие ушло в прошлое», то человеку весьма нетрудно пополнить его событиями, которые в явном виде в этом тексте отсутствуют. Ясно, например, что между событием, описанным в первом предложении, и тем, которое зафиксировано как второе, имеется пропуск. Второе событие произойдет, если Андрей и Татьяна окажутся в одном месте. Один из них должен был войти в вагон или другой — выйти из вагона. (При чтении текста последовательно пока неясно, кто приехал и кто ожидал на перроне.) Поэтому восстановление пропущенных событий напоминает вывод с некоторыми оценками правдоподобия. Третье

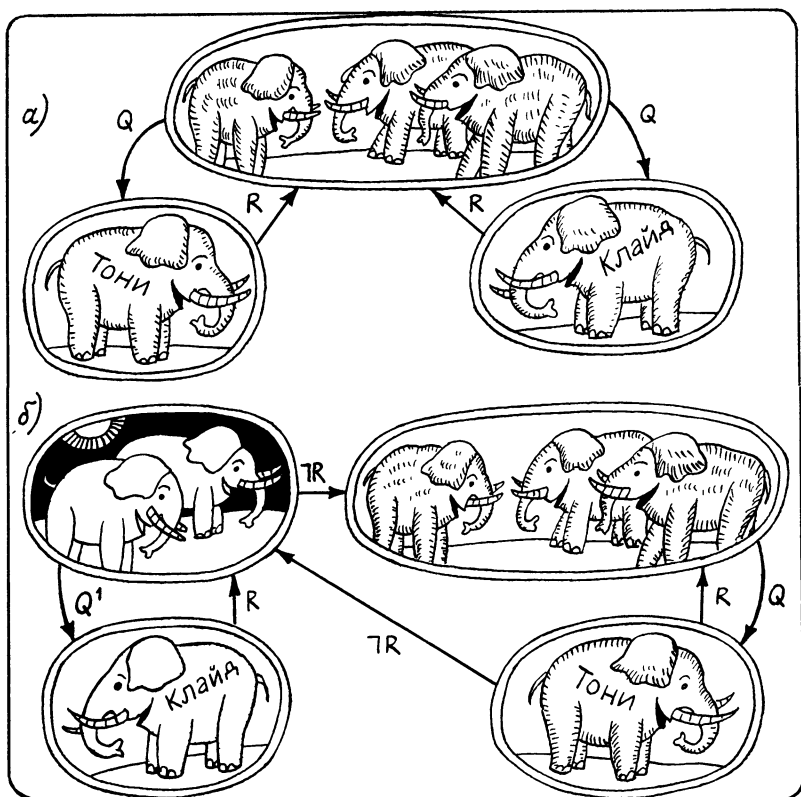


Рис. 36

событие, зафиксированное в тексте, не может непосредственно следовать за вторым. Для его реализации надо, чтобы Андрей и Татьяна сели в такси, а если предположить, что Андрей обнимал Татьяну на перроне (что весьма правдоподобно), то надо было еще дойти до места посадки в такси. Наконец, четвертое событие, связанное с ощущением, охватившим Татьяну, увеличивает правдоподобность того, что из путешествия вернулась именно Татьяна, а не Андрей (хотя стопроцентно этого утверждать на основании текста нельзя). Кроме того, либо время четвертого события совпадает с временем третьего события, либо четвертое событие происходит позже третьего, когда Татьяна уже вышла из такси, а возможно, и вошла в свой дом.

Читатель должен почувствовать, что пополнение знаний — процедура весьма непростая. Приведенный простенький пример уже продемонстрировал необходимость в альтернативном выборе при пополнении, а также в правдоподобных рассуждениях.

Но самое главное — этот альтернативный выбор может оказаться источником всевозможных неверных выводов при дальнейшей работе с базой знаний.

Остановимся лишь на одном случае такой опасности, который среди специалистов по интеллектуальным системам получил название эффекта *немонотонных рассуждений*. Поясним его на популярном примере. До того, как европейцы узнали, что в Таиланде водятся белые слоны (так называемые королевские слоны), они были уверены, что все слоны серые. Это означало, что в модели знаний о слонах имел место фрагмент, показанный на рис. 36, а. В этом фрагменте R есть отношение, а Q — отношение «быть серого цвета». Если Тони — имя некоторого конкретного слона, то из информации, отраженной в данном фрагменте знаний, следует, что «Тони имеет серый цвет». Но при условии, что слон Клайд является королевским, для него такой вывод будет неверным. Это означает, что при появлении нового знания о том, что «Клайд — королевский слон», ранее сделанный относительно него вывод «Клайд имеет серый цвет» становится ложным. В этом и состоит немонотонность вывода.

В обычной логике вывод всегда бывает монотонным. Если из множества утверждений $\{F_i\}$ следует утверждение F^* , то как бы ни расширилось множество $\{F_i\}$, истинность утверждения F^* не может измениться. А у нас имеется прямо противоположная ситуация. Появление нового утверждения «Клайд — королевский слон» отменяет истинность утверждения «Клайд имеет серый цвет».

На рис. 36, б показана семантическая сеть, в которой учтен новый факт, касающийся королевских слонов. Дуга $\neg R$ соответствует отношению «не принадлежит к классу», а дуга Q' — отношению «быть белого цвета».

Возможность неоднозначного доопределения сетей, хранящихся в памяти, приводит к тому, что после доопределения выводятся могут различные утверждения, зависящие от сделанного пополнения. Поэтому проблема пополнения непростая. Поэтому переход к построению выводов, опирающихся на знания (а именно они активно используются в современных интеллектуальных системах), вызывает к жизни многие новые и не совсем привычные для традиционных логиков проблемы.

Спрашивай — Отвечаем

Одним из нетрадиционных видов человеческих рассуждений (нетрадиционных для классической логики, а не для человека) является поиск ответа на вопрос. Развитие баз знаний стимулировало интерес к тому, как могут формулироваться запросы к хранящейся в них информации и как могут формироваться

ответы на эти вопросы. Другими словами, внимание логиков стали привлекать процедуры построения *вопросно-ответных отношений*.

Давно известно, что правильно сформулированный вопрос во многом содержит в себе информацию о возможном ответе на него. Но остается неясным, что значит «правильно сформулированный». В рассказе известного американского писателя-фантаста Р. Шекли «Верный вопрос» эта проблема находится в центре внимания. В рассказе говорится о поставленном в глубинах Космоса универсальном Ответчике, созданном некоторой сверхцивилизацией. Ответчик способен дать исчерпывающий ответ на любой вопрос, если он сформулирован правильно. Но оказывается, что этого никто из людей не может сделать. Все живые существа живут в мирах, которые состоят из частностей. Поясняя этот факт очередному претенденту на получение ответа, Ответчик говорит: «Положим, ты спрашиваешь: «Почему я родился под созвездием Скорпиона при проходе через Сатурн?». Я не сумею ответить на твой вопрос в терминах зодиака, потому что зодиак тут совершенно не при чём». И постепенно автор рассказа приводит читателя к мысли о том, что в условиях работы Ответчика есть явный парадокс: правильно поставить вопрос можно только тогда, когда ответ на него известен.

Существует несколько типов вопросов, которые мы часто задаем другим людям или самим себе. Специалисты до сих пор не пришли к единому мнению о классификации всех возможных вопросов. Условно их пока делят на шесть типов в зависимости от того, какие процедуры требуются при ответе на них.

1. *ЧТО-вопросы*. Это вопросы типа «Что ты знаешь о сотруднике Иванове?» или «Сообщи все, что тебе известно о малярии». ЧТО-вопросы для ответа на них требуют просмотра базы знаний и извлечения из нее всей информации, относящейся к тому, о чем спрашивается в вопросе. При реализации такой процедуры возникает немало сложностей. Информация в базе знаний хранится так, что между информационными единицами имеется немало разнообразных связей. Эту ситуацию мы описали, когда говорили о семантических сетях. «Вытаскивая» ответ на ЧТО-вопрос, надо решить проблему остановки, прекращения движения по связям. Надо уметь определять *релевантное окружение* той информации, которая является *прямым ответом* на поставленный вопрос.

2. *ЛИ-вопросы*. Такие вопросы подразумевают конечное множество альтернативных ответов при условии, что сами ответы как бы присутствуют в вопросе. Вот примеры ЛИ-вопросов: «Петя ходит в школу или он еще дошкольник?», «Что мы будем делать после обеда: отдыхать, гулять или работать в саду?», «Перестала Маша по утрам ходить на музыку?».

Для формирования ответов на ЛИ-вопросы необходима процедура проверки истинности альтернатив, перечисленных в них, и выбора той альтернативы, которая является истинной. Конечно, в базе знаний может не оказаться нужных данных. Это приводит к тому, что в качестве ответа на ЛИ-вопрос может быть выдано: «Не знаю» или «Не имею необходимой информации».

Возможен и другой крайний случай (к сожалению, весьма часто встречающийся в больших информационных системах), когда возникает известная позиция Ходжы Насреддина в разрешении спора двух сторонников взаимно исключающих альтернатив. Выслушав первого, он сказал: «Ты прав», выслушав второго он снова сказал: «Ты прав», а на замечание прохожего, что так быть не может, Насреддин сказал и ему: «Ты прав». При заполнении баз знаний (особенно из различных источников) в них одновременно могут храниться взаимоисключающие факты. При обнаружении такого положения ответ на ЛИ-вопрос должен звучать примерно так: «Однозначного ответа дать не могу, верно и одно и другое».

3. *КАКОЙ-вопросы.* Эти вопросы похожи на ЛИ-вопросы, но отличаются от них тем, что либо множество альтернатив является бесконечным, либо определяется не по самому вопросу, а требует выполнения специальных процедур по его нахождению. Типичными примерами КАКОЙ-вопросов могут служить: «Какие сотрудники института имеют детей в возрасте до пяти лет?» или «Какие следствия могут возникнуть из того, что министром обороны станет Д. Смит?». Ответ на первый из приведенных вопросов требует специального просмотра содержимого памяти системы, использующего *атрибут* «наличие детей до пяти лет». Такой поиск характерен для современных *реляционных баз данных*. Поэтому в литературе подобные КАКОЙ-вопросы часто называют типовыми запросами к реляционным базам данных или просто *реляционными вопросами*.

Ответ на второй КАКОЙ-вопрос требует не только поиска, но и процедуры логического вывода следствий из того, что в множество истинных формул в качестве посылки включается новая формула, связанная с утверждением о том, что Д. Смит является министром обороны. Как и для ЛИ-вопросов, в этом случае возможно незнание ответа или неоднозначность его. КАКОЙ-вопросы второго типа есть вопросы о следствиях из принятия некоторого факта в базу знаний, что принципиально отличает их от КАКОЙ-вопросы первого типа.

4. *ПОЧЕМУ-вопросы.* Вопросы подобного типа есть вопросы о причинах явлений или фактов, перечисленных в вопросе. Ответы на них требуют использования каузальных логик, о которых мы уже упоминали ранее, т. е. обращения к причинно-следственным и иным каузальным связям, отраженным в базе

знаний. После этого моделируется рассуждение, схема которого и есть ответ на ПОЧЕМУ-вопрос.

5. *ЗАЧЕМ-вопросы.* Это вопросы о целях. Ответ на них внешне похож на поиск ответа на ПОЧЕМУ-вопросы, но вместо каузальных связей в базе знаний используются связи типа «цель — средство» или «цель — подцель». Ответом служит найденный путь, ведущий от текущей ситуации к целевой или целевым. При невозможности найти соответствующий путь при ответах на ПОЧЕМУ-вопрос или ЗАЧЕМ-вопрос в качестве ответа может формироваться: «Не знаю» или «Отсутствует информация для ответа».

6. *КАК-вопросы.* Эти вопросы предполагают, что в качестве ответа на них будут выданы пояснения о способах получения системой тех или иных результатов. Если, например, КАК-вопрос касается того, как получен тот или иной логический вывод, то в качестве ответа на него можно воспроизвести этот вывод или наиболее важные его части. Для этого удобно хранить в памяти системы «треки» ранее полученных выводов, пока вопрос типа КАК остается актуальным.

Из приведенной типологии вопросов видно, что ответы на многие из них могут трактоваться как *объяснения*. Проблема объяснения в современных интеллектуальных системах стала одной из центральных. Мы уже говорили о том, что она обязательно должна иметь решение в экспертных системах. Пользователь такой системы должен быть уверен, что совет, данный интеллектуальной системой, действительно верен и получен из исходных данных с учетом всей информации о задаче, имеющейся у пользователя.

В более широком смысле от интеллектуальной системы требуется не просто объяснение, а, скорее, *обоснование* того результата, который получен системой. Уверенность в правильности некоторого ответа у специалиста часто сочетается с неумением обосновать его строго логически. Один из специалистов археологов по этому поводу пишет: «Если опытному археологу показать обработанный камень или черепок глиняного сосуда, он довольно уверенно скажет, к какой эпохе или даже к какой культуре относится показанный предмет. Но если его спросить, каким образом он пришел к этому выводу, какова цепочка рассуждений, приведших его к ответу, то этот вопрос окажется для него более сложным, чем первый, поскольку подобные заключения, как правило, основаны на опыте и интуиции исследователя, а проверкой и обоснованием наших интуитивных заключений мы утруждаем себя не очень часто».

Мы пришли к весьма важному моменту, когда становится очевидным, что в человеческих рассуждениях, выводах и методах обоснования появляется новый компонент, связанный с опытом и интуицией, еще не вылившимися в форму осознанных

логических утверждений. В широком смысле обоснование некоторого факта или утверждения должно включать в себя наряду с его логической аргументацией и компонент, опирающийся на психологическую уверенность человека в справедливости или истинности тех или иных положений. Здесь теория человеческих рассуждений смыкается с психологией поведения людей. И именно об этом пойдет речь в последней главе книги.

Глава шестая.

РАССУЖДЕНИЯ И ПОВЕДЕНИЕ

Причины действий человеческих обыкновенно бесчисленно сложнее и разнообразнее, чем мы их всегда потом объясняем, и редко определенно очерчиваются.

Ф. М. Достоевский. Идиот

Рационален ли человек?

Этот вопрос может показаться странным. Мы привыкли, что рациональность, целенаправленность поведения человека, внутренняя логика его рассуждений тем больше, чем сильнее в нас проявляются «интеллектуальные возможности», чем более строго и научно мы действуем. Глубокое уважение к науке, вера в ее силу и исключительность в объяснении окружающего мира, в торжество научно-технического прогресса настолько сильны в нас, что мы склонны считать, что лишь научные способы рассуждений, опирающиеся на формальные логические схемы, могут оказаться продуктивными и справедливыми.

На предшествующих страницах этой книги была сделана попытка заронить сомнение в незыблемость этого расхожего мнения. Было показано, что строгие достоверные рассуждения, отвечающие самым полным ограничениям формальных логических систем, моделируют далеко не все виды рассуждений, которыми оперирует в своей деятельности человек. Многие виды научного знания базируются на рассуждениях нестрогих, носящих правдоподобный характер, или на выводах, использующих неполную исходную информацию. В этой главе обратим еще большее внимание на важность в моделировании человеческой деятельности и его поведения «нерациональных схем рассуждений».

Но начнем с того, что попытаемся описать основные черты целенаправленной (рациональной) модели поведения. Такая модель может быть охарактеризована следующими девятью особенностями.

1. В поведенческом акте четко разделяются конечные и промежуточные цели, средства достижения целей и результаты, возникающие при применении этих средств.

2. Имеется эффективная процедура, которая позволяет сравнивать между собой результаты и цели, оценивать степень достижимости цели.

3. Имеется эффективная процедура, дающая возможность оценивать значимость достигаемых целей и сравнивать между собой различные цели по степени их важности.

4. Задана структура промежуточных целей. Другими словами, проведена декомпозиция конечных целей на промежуточные и определен порядок движения от целей нижнего уровня к целям верхнего уровня (переход с уровня на уровень соответствует приближению к конечным целям).

5. Средства сами по себе не имеют какой-либо ценности. Их ценность определяется лишь тем, насколько быстро идет движение к конечным целям.

6. Заданы условия выбора средств, не зависящие от целей, определяемые теми или иными четко осознанными обстоятельствами или возможностями.

7. Акт поведения оценивается по тому, насколько удалось в результате его совершения приблизиться к конечной цели.

8. Имеются процедуры оценки ресурсных ограничений, необходимых при выборе тех или иных средств или достижении тех или иных целей.

9. Ожидается, что в результате достижения конечной цели субъект получит некоторое «вознаграждение» (например, в виде морального удовлетворения).

Можно ли считать, что эти основные особенности реализуются в любом человеческом рассуждении или поведении? Всегда ли мы осознанно ставим перед собой цели, проводим анализ средств их достижения, оцениваем возможные ресурсы и делаем все остальное, без чего рациональное поведение не является таковым? Разве не ловим мы себя время от времени на мысли о том, что наши действия ни на что не направлены, что мы «просто убиваем время» или «ловим кайф»? Разве время от времени мы не делаем вещей, которые сами потом не в силах объяснить?

Но даже тогда, когда мы осознаем цель, которую хотим достичь, не начинаем ли мы действовать подобно Манилову, лишь рассуждая о пользе достижения этой цели, но не делая к этому никаких практических шагов. При тех или иных выводах мы часто прибегаем к некоторым утверждениям, в абсолютную истинность или ложность которых не верим. Когда мы говорим: «Учение — свет, а неученье — тьма», мы, по-видимому, верим в истинность этой сентенции. Но в нескольких иных обстоятельствах мы с той же внутренней убежденностью прибегаем к другой сентенции, явно противоречащей первой: «Век живи, век учись — дураком помрешь». В первой главе мы говорили о трех ипостасях человека: дитя, взрослый и родитель. И если рассуж-

дения взрослого демонстрируют чисто логический характер, несомненно рациональный по особенностям, то рассуждения ребенка или родителя вовсе не преследуют рациональных целей. Дети часто получают удовольствие от самого процесса рассуждения, от тех эмоций, которые этот процесс вызывает, а рассуждающие в ипостаси «Родитель» часто как раз и занимаются тем, что «просто убивают время».

Стереотипы социального поведения, мода, сложившиеся в обществе морально-этические нормы во многом определяют наши рассуждения и поведение. В итальянском фильме «Игра в карты по-научному» баснословно богатая и бесчеловечная старуха обыгрывает в карты бедняков, мечтающих о том, что они, выиграв, разбогатеют. Так как старуха при каждом проигрыше просто удваивает ставку, а запас ее денег неиссякаем, то логически совершенно очевидно, что наступит момент, когда она отыграет все свои проигрыши и разорит противника. Подобный вывод строг и обоснован, ибо игра продолжается без ограничений. Но рассуждения двух детей, героев картины, основаны на иных принципах. Между ними происходит такой диалог: «Как ты думаешь, старуха проиграет? — Конечно! — А почему? — Потому что она плохая, а он хороший».

«Ты прав, но это меня не убеждает»

Факты для человека существуют не сами по себе. Они образуют взаимосвязанную и сложную структуру. Наличие того или иного факта, не подтверждаемого другими фактами, тесно связанными в сознании с ним, часто подвергается сомнению. И, наоборот, ненаблюдаемый факт может казаться истинным, если его релевантное окружение имеет место: Таким образом, для человека важен не только конкретный факт, но и тот контекст, в котором он существует в его сознании.

В последнее время в науке об интеллектуальных системах все чаще и чаще используется термин «уверенность». Факты принимаются или не принимаются людьми не только в силу их логической обоснованности, но и в силу той или иной уверенности людей в этих фактах, совместимости их с ранее сформировавшимися у человека представлениями и связями. Конечно, эта уверенность может быть мнимой, приводить к ошибочным умозаключениям.

«Выдергивание» фактов из контекста, оперирование ими вне релевантного окружения может приводить к их субъективному истолкованию. Вот как пишет о такой «операции» и ее последствиях для исторической науки писатель О. Сулейменов: «Я понял, что историческая ложь может оскорблять вещь так же, как историческая правда невежду. Мне приходилось видеть, как исторический факт мотается на качелях субъектив-

ной логики, возносясь на метафизические вершины и обрушиваясь в бездонные пропасти объективного незнания. Факт, взятый вне исторического контекста, превращается в мертвую игрушку ученых. Ибо факт — ядро эпохи, он живет в космосе обстоятельств своего времени, как земной шар в оболочке атмосферы».

Проблему аргументации можно было бы сформулировать как проблему поиска тех фактов (из которых данный факт вытекает), которые могли бы обосновать проявление интересующего нас факта. Факты, привлекаемые для аргументации, должны быть убедительными либо для самого субъекта (если он убеждает сам себя), либо для его оппонентов. Как-то на экскурсии в Больших Вязёмах автор услышал следующую аргументацию экскурсовода по поводу факта причастности Бориса Годунова к убийству царевича Дмитрия. Экскурсовод, показывая на храм Преображения, стоящий в Больших Вязёмах, сказал: «Посмотрите на храм внимательно. Многие его детали напоминают Архангельский собор в Кремле. Значит, строя его, Борис Годунов как заказчик давал строителям образцы для подражания. Он еще не был на престоле, но явно думал о нем. Косвенно это для меня лично весьма убедительно свидетельствует, что Дмитрия убили по приказанию Годунова». Автору это рассуждение показалось малоубедительным. Но в процессе дальнейшего разговора с экскурсоводом он услышал немало других аргументов в пользу высказанного. И хотя автор не стал сторонником мнения о причастности Годунова к убийству Дмитрия, но соображения его оппонента стали для него более убедительными.

Таким образом, можно считать, что аргументация — это такой процесс, при котором одна из сторон пытается сменить систему аксиом у собеседника, «настроить» его на вывод из приведенной для аргументации совокупности фактов того утверждения, которое защищается. Но, чтобы добиться этого, необходимо сменить у собеседника систему ценностей, которая лежит в основе непринятия аргументации. Другими словами, при этом необходимо апеллировать не к чисто логическому содержанию утверждений, а к тем ценностным оценкам, которыми они обладают.

Процессы такого рода в практике человеческого общения называются «споры». Споры бывают самыми различными по своим целям и формам. Опишем ряд типичных видов спора.

1. Спорящий в процессе аргументации и ответов на нее хочет увеличить собственную уверенность в справедливости того тезиса, который он отстаивает. Возможно, что в процессе опровержения аргументации у лица, выдвинувшего тезис, произойдет смена аксиом, и он изменит свою точку зрения.

2. Спор происходит с единственной целью убеждения оппонента в справедливости выдвигаемого тезиса. При этом лицо,

выдвинувшее некоторый тезис, может считать его истинным, но может и не считать его таковым. Во втором случае оправданием спора для него служит убеждение, что если оппонент примет тезис (хотя он и неверен), то оппоненту будет лучше. Например, происходит убеждение друга, что ему надо жениться на его новой знакомой, но стремление навязать ему этот брак протекает вовсе не из того, что верен обосновываемый в споре тезис «Она лучше других тебе подходит», а потому, что «Жениться просто необходимо». И когда «Добрыня крестил огнем, а Путята мечом», то они были, по-видимому, уверены в том, что для язычников крещение было благом.

Два указанных вида спора исчерпывают то, что можно было бы назвать рациональным спором. Спорящие в них имеют свои четко осознаваемые цели и добиваются их, используя приемы, не содержащие обмана. Наверное, имитация таких споров в современных интеллектуальных системах — вещь вполне возможная. По крайней мере, ясно, как это делать принципиально, используя процедуры решателя и возможности базы знаний. Остальные виды спора, перечисленные ниже, реализовать в интеллектуальных системах намного труднее (да и с прагматической точки зрения целесообразность такой реализации требует особых обоснований).

3. Спор происходит ради победы в нем. Наградой за одержанную победу является укрепление личной установки, получение эмоционального подкрепления своей «всесильности». В таких спорах часто используются всевозможные обманы, подмены одних тезисов другими, отказ от ранее принятых положений и т. п. Споры такого рода представляют своеобразную психологическую игру, в которой целью является не истина, а доказательство своего превосходства над другим человеком.

4. Спор может использоваться «для убивания времени». Часто люди спорят просто ради любви к спору, к тем эмоциям, которые его сопровождают. В грибоедовское время жил в Москве Алексей Михайлович Пушкин, который ежедневно с утра искал кого-нибудь, чтобы начать с ним спорить, все равно о чем. Иногда в процессе спора он мог сменить тезис на противоположный, если видел, что оппонент уже согласен принять его тезис, и продолжал столь же красноречиво и яростно убеждать оппонента в верности антитезиса.

5. Спор ради обучения спору, когда не слишком опытный спорщик в процессе спора обучается приемам аргументации, уловкам и ловушкам и другим способам вести спор. Такие споры использовались в философских школах Античности для обучения учеников. Сократические диалоги являются одним из видов такого спора. Еще раз напомним, что вся силлогистика Аристотеля выросла из практики споров подобного типа.

6. Спор ради оскорбления оппонента, стремления унизить

его, доказать, что его система ценностей намного хуже той, которой пользуется спорщик. В таком споре люди редко прислушиваются к аргументам оппонента. Иногда они попросту их не слышат. Об одном таком спорщике М. Ю. Лермонтов пишет в первой главе «Княжны Мэри»: «Спорить с ним я никогда не мог. Он не отвечает на ваши возражения, он вас не слушает. Только что вы остановитесь, он начинает длинную тираду, по-видимому, имеющую какую-то связь с тем, что вы сказали, но которая на самом деле есть только продолжение его собственной речи».

В процессе спора спорящий может слушать лишь себя, но может имитировать рассуждения своего оппонента. Во втором случае он пользуется схемами, получившими название *схем рефлексии*.

«Он думает, что...»

21-го августа 1974 года на шестнадцатой полосе «Литературной газеты» появилась миниатюра А. Жукова, имеющая непосредственное отношение к тому, о чем тут пойдет речь. Поэтому приведем ее полностью.

Личное мнение

«Да» или «нет»? — вот в чем вопрос. Если «да», не подумает ли Он, что я говорю «да» лишь потому, что я думаю, что так думает Он? То есть что я подхалим. А если «нет», не подумает ли Он, что, несмотря на то, что я думаю, что Он думает «да», я тем не менее говорю «нет», то есть что я не в меру строптив? Но если «да», Он подумает, что я говорю «да» потому, что мне показалось невыгодным говорить «нет». А если «нет», Он может подумать, что я говорю «нет» лишь для того, чтобы показать, что у меня есть собственное «Я», то есть что у меня его нет. А все-таки «да» или «нет»? «Нет» или «да»? А почему это я вдруг решил, что Он думает «да»? А если Он думает наоборот? И тогда, если я скажу «нет»...

Мучения героя миниатюры по-человечески понятны. Знать мнение своего начальника — мечта многих поколений подчиненных. Еще во времена Римской империи был в ходу принцип *Ipse dixit*, который по-русски звучит весьма внушительно: «Сам сказал!». Но как узнать, что же Сам сказал? Нельзя же просто так спросить Самого. Выход из этого положения — моделирование предполагаемого мнения начальства. Основа такого моделирования — *рефлексивные рассуждения*.

При рефлексивном рассуждении мы как бы становимся не собой, а моделируемым персонажем, проводим рассуждение за него, глядя на мир и ситуацию его глазами. Для того, чтобы это было возможно, надо знать ту систему посылок и критериев, которые моделируемое лицо использует. Если таких знаний недостаточно или их нет, то существует лишь один выход: считать,

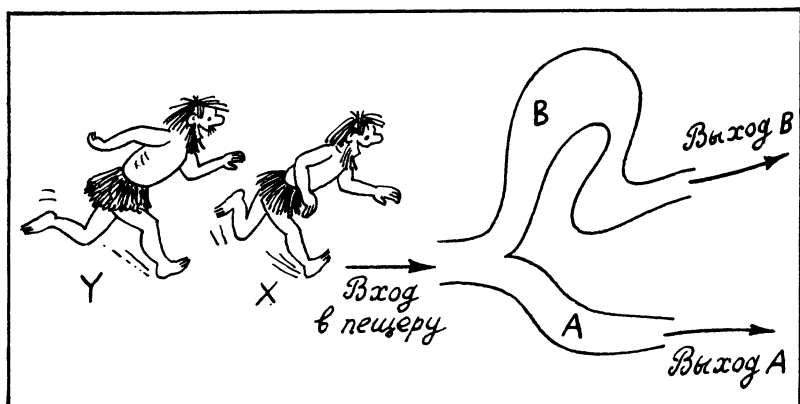


Рис. 37

что Он и Я одинаковы. Другими словами, считать, что Он обладает такими же посылками и критериями, как и Я, а его знания не больше моих.

Если внимательно прочитать эту юмореску, то можно заметить, что рефлексивные рассуждения очень напоминают вложенные друг в друга матрешки. Рекурсивный процесс вложения можно продолжать бесконечно, становясь попеременно на место моделируемого персонажа и свое. С этим вложением связано понятие *ранга рефлексии*, введенного в научный оборот В. А. Лефевром, впервые описавшим модель рефлексивных рассуждений. Понятие ранга рефлексии удобно проиллюстрировать на примере, использованном ранее тем же Лефевром.

На рис. 37 показана ситуация погони. Персонаж X пытается удрать от персонажа Y. Зная, что Y бежит быстрее его, X решает воспользоваться рефлексивным рассуждением, считая, что Y к нему не способен. Он вбегает в пещеру, показанную на рисунке, и при наличии двух коридоров A и B выбирает коридор B. Почему он это делает? Схема его рассуждений такова. Коридор A более приспособлен для передвижения, в нем можно бежать, а в узком коридоре B придется пробираться почти ползком. Другими словами, $A > B$, где знаком $>$ обозначено, что коридор A предпочтительнее B. И персонаж Y об этом тоже знает. Но поскольку Y не умеет рефлексивно рассуждать (это соответствует тому, что Y обладает *нулевым рангом рефлексии*), то схема рассуждений Y будет иметь следующий вид:

X и я знаем, что $A > B$, следовательно, X_A и, следовательно, Y_A .

Здесь X_A и Y_A обозначают соответственно то, что X и Y выбирают движение по коридору A. Но для X такая ситуация никуда не годится. Не слишком умный, но быстроногий Y его догонит

либо в пещере, либо после выхода из нее через выход A . Именно поэтому X прибегает к рефлексивному рассуждению. Оно выглядит следующим образом:

Y думает, что $A > B$, следовательно, Y_A и, следовательно, X_B . Пусть теперь Y попробует догнать X , ведь выход B расположен совсем в другом месте, чем выход A ! В этом рассуждении персонаж X продемонстрировал наличие *первого ранга рефлексии*. Прежде чем принять решение, он провел рассуждение за Y , предположив, что его знания таковы, что он обладает нулевым рангом рефлексии.

Но верно ли это предположение? Ведь X мог и просчитаться, не подозревать, что Y сам обладает первым рангом рефлексии. В этом случае Y не бросается сразу в коридор A потому, что $A > B$, а также прибегает к рефлексивному рассуждению вида X думает, что $A > B$ и Y_A , следовательно, X_B и, следовательно, Y_B .

В этом случае X проиграет.

А что будет, если X обладает *вторым рангом рефлексии*? В этом случае он предполагает, что Y способен к рефлексивным рассуждениям первого ранга. В этих условиях рассуждение X может выглядеть следующим образом:

Y думает, что X думает, что $A > B$ и, следовательно, X_B и, следовательно, Y_B , отсюда X_A .

И если X правильно оценил возможности Y , то он ушел от погони. Но если X провел рефлексивное рассуждение на уровне второго ранга рефлексии, а Y обладал лишь нулевым рангом, то X попался. Он «перемудрил сам себя», посчитав, что Y обладает способностями рассуждать, которые тому и не снились.

Ситуация, очень похожая на этот последний случай, послужила основанием для рассказа «Ограбление произойдет в полночь», принадлежащего известному советскому писателю-фантасту И. Варшавскому. В нем описана следующая забавная ситуация. Полицейское управление получает в свое распоряжение мощный компьютер с пакетом программ, позволяющих прогнозировать возможные преступления. Проанализировав все случаи ограбления банков за последние пятьдесят лет, ЭВМ выдает прогноз, что сегодня произойдет ограбление Национального банка и сделает это известная банда папаши Сколетти. Машина даже рассчитывает оптимальный вариант ограбления, сулящий банде наибольший успех.

Все было бы хорошо, но у банды Сколетти тоже есть ЭВМ — родная сестра машины, стоящей в полицейском управлении, а программисты, работающие у бандитов, конечно, знают об ЭВМ, приобретенной полицией. И, конечно, они легко могут просчитать действия полиции при оптимальном варианте ограбления. Поэтому если их уровень рефлексии выше нулевого, то

бандиты воспользуются не оптимальным вариантом, а тем, который наименее от него отличается.

Так начинается дуэль двух ЭВМ, которые постепенно наращивают ранги рефлексии своих рассуждений. Процесс этот, как мы уже говорили, бесконечен. ЭВМ рассчитывают и отвергают один вариант за другим, не останавливаясь окончательно ни на одном из них, предполагая, что противники уже рассчитали эти варианты. Дуэль кончается неожиданно. Шефу полиции сообщают, что десять минут назад Национальный банк ограблен. На испуганный вопрос программиста полицейского управления: «Неужели Сколетти?..», — шеф полиции яростно отвечает: «Думаю, что Сколетти целиком доверился такому же болвану, как вы. Нет, судя по всему, это дело рук Вонючки Симса. Я знаю его манеру действовать в одиночку, угрожая кольцом образца 1912 года и консервной банкой, насаженной на ручку от мясорубки».

Вонючка Симс не был способен к рефлексивным рассуждениям и выиграл на этом.

Рефлексивные рассуждения тесно связаны с некоторым классом игр, в которых игроки при выборе своих действий могут опираться на соображения о поведении других игроков. Простейшей из таких игр является игра, получившая название «Дилемма заключенного». Эта игра задается матрицей с определенными отношениями между выигрышами игроков при выборе ими одной из двух доступных им альтернатив. Например, матрица может иметь следующий вид:

	B_1	B_2
A_1	—3, —3	—6, 0
A_2	0, —6	—1, —1

В этой матрице A_1 и A_2 обозначают два действия, которые может выбрать первый игрок, а B_1 и B_2 — действия второго игрока. На пересечении строк и столбцов написаны пары чисел, которые определяют выигрыши и проигрыши соответственно первого и второго игроков, когда они произведут одновременно свои альтернативные выборы.

Обычно для интерпретации этих выборов рассказывают следующую криминальную историю. Полиция задержала двух человек, которые полицейским показались подозрительными. Во всяком случае, они явно смахивали на бродяг, а в стране, где это происходит, за бродяжничество полагается наказание — год тюремного заключения. Но у полицейского комиссара есть основания подозревать в них не просто бродяг. Похоже, что они — давно разыскиваемые преступники, на совести которых немало краж. Но как установить истину?

Комиссар выбирает следующую тактику. Он сажает подозре-

ваемых в разные камеры и не дает им общаться между собой. При допросе каждому из них он объясняет, что если допрашиваемый сознается в совершении краж, то все наказание (шесть лет тюрьмы) понесет нераскаившийся преступник, а сознавшийся будет полностью освобожден от наказания. Если же оба преступника сознаются одновременно, то каждому из них придется отсидеть по три года.

Перед подозреваемыми возникает дилемма: сознаться или не сознаться? Если бы они могли договориться между собой, то, конечно, надо было бы упорно отрицать свое участие в кражах. Год тюрьмы не такой уж большой срок, и они вскоре были бы на свободе. Но договориться им не дают. И все время каждого мучает мысль: что если сообщник сознается? Тогда придется сидеть шесть лет, а он будет гулять на свободе.

Итак, перед каждым из игроков две стратегии: сознаться (в матрице игры этому соответствуют альтернативы A_1 и B_1) или не сознаться (альтернативы A_2 и B_2). Как поведут себя люди в такой ситуации? Как они должны рассуждать?

Если у наших бродяг нулевой ранг рефлексии, то каждый из них способен рассуждать только на основе тех чисел, которые находятся в матрице игры. А это значит, что каждый из них руководствуется лишь собственными интересами. В таких условиях они мгновенно «раскалываются», признаются в совершенных кражах и получают по три года тюрьмы.

Если один из бродяг обладает первым рангом рефлексии, то он сначала подумает о своем компаньоне, встанет на его место, примет его посылки и критерии (в данной задаче эти посылки и критерии одинаковы у обоих игроков). Если имеются основания считать, что компаньон человек недалекий, не способный к рефлексии, то ясно, что он сознается при первой же возможности, ибо рассуждает по схеме

$$B_1 > B_2, \text{ следовательно, выбираю } B_1.$$

В этих условиях надо немедленно сознаться, ибо три года тюрьмы все-таки лучше, чем шесть.

Если же компаньон умен, то хорошо бы знать, какой ранг он припишет своему сотоварищу. Если нулевой, то ситуация ясна — пары (A_1, B_1) не избежать и надо немедленно сознаться. Если же он посчитает, что сотоварищ имеет первый ранг рефлексии, то он сделает правильный выбор: сознаться не нужно. Хотя, если он будет выбирать B_2 , то почему бы не выбрать A_1 ? И быть на свободе, оставив сидеть его в тюрьме. Такое рассуждение соответствует уже второму рангу рефлексии. Но ведь и компаньон может оказаться таким, что у него будет тоже второй ранг рефлексии. Что тогда?..

Оставим бродяг мучиться над их неразрешимой дилеммой, а комиссара полиции ждать, когда они «созреют». Вернемся

к тем схемам рефлексивных рассуждений, которые мы привели.

Для того чтобы понять, как реализуются рассуждения с различными рангами рефлексии, введем специальный оператор $x(y(z))$, смысл которого заключается в словах « x думает, что y думает z ». С помощью этого оператора можно записывать схемы рефлексивных рассуждений. Например, запись

$$x(y(x(d))) \Rightarrow h$$

соответствует следующему рассуждению: « x думает, что y думает, что x думает d , поэтому x делает h ». Ясно, что ранг рефлексии x равен двум, а относительно y он предполагает, что его ранг рефлексии равен единице. В большинстве задач, связанных с рефлексивными рассуждениями, по-видимому, можно обойтись лишь двумя типами рангов рефлексии: четным и нечетным. Более тонкое исследование рефлексивных рассуждений читатель может найти в литературе, указанной в комментарии к этому разделу.

Текст и рассуждение

В конце второй главы мы говорили о малоизвестных науках — герменевтике, экзегетике и гомилетике. Одним из достижений этих наук является четкое понимание того, что та или иная аргументация во многом зависит от формы текста и восстановления условий его возникновения. Примером аргументаций такого рода могут служить удивительно тонкие и остроумные соображения, используемые специалистами в области литературоведения или истории. Анализируя, например, роман М. А. Булгакова «Мастер и Маргарита» литературоведы смогли разгадать многое, что скрывается между строк этого произведения. Коровьев-Фагот оказывается носителем средневековой ереси альбигойцев, учение известного украинского мыслителя Г. Сковороды — лейтмотивом многих высказываний героев романа. А фамилия Берлиоз свидетельствует о глубинном противопоставлении всего замысла романа Булгакова замыслу «Фантастической симфонии» известного французского композитора. Такая работа требует обширных знаний об эпохе и личности писателя, умения воспринимать текст произведения как бы в нескольких измерениях.

Тексты обладают одной удивительной способностью. Если они передают живую речь, то невольно изменяют ее, трансформируют в ту или иную сторону, приглаживают, лишают тех компонентов, имевшихся в живой речи (интонация, сопровождающие жесты, мимика), которые во многом определяли характер живой речи. Эта особенность текстов не раз создавала трудности, когда стенографирование или запись показаний подозреваемых превращала в текст протокола их живую речь. Если судьи

после этого познакомились с делом лишь по письменным текстам, то их суждения могли быть весьма далекими от истины. В почти документальном романе французского писателя Ж. Перро «Красный пуловер» рассказывается о судебном процессе над Ранусси, казненным в 1976 году по подозрению в убийстве ребенка. Не подвергая полному сомнению обстоятельности дела и судебного расследования, автор романа специально отмечает особенности протокола. От имени адвоката подсудимого он говорит:

«Вы знаете, я так и не услышал признаний в виде связного рассказа. Ранусси замолкал, едва речь заходила об уточнении деталей: он только повторял: „Да... да... да...“. Судья задавала ему вопросы, а он отвечал — если отвечал — либо односложными словами, либо кивком головы. Затем судья диктовала своему секретарю умело построенные фразы, и на бумаге выходило слитное повествование. Не поймите меня превратно! Я не утверждаю, что его заявления были сфабрикованы. Я просто повторяю, что обе стороны не выходили за рамки первоначальных признаний. Судья спрашивала: „Вы действительно сделали то-то и то-то?“, а обвиняемый отрешенно повторял: „Да, да“. Но уверяю вас, продиктованный секретарю текст звучит убедительно только потому, что составлен логично. Если бы вам довелось слышать, как Ранусси отвечает на наводящие вопросы, не имеющие вроде бы к нему никакого отношения, у вас наверняка зародились бы сомнения... На суде многократное повторение отдельных фраз может оказать решающее влияние. Присяжный, справедливо уверенный в том, что „стиль — это человек“, не знает, что в области юриспруденции стиль — это полицейский либо следственный судья... Речь может изобиловать колебаниями, непоследовательными высказываниями, повторами, намеками, противоречиями, умолчаниями, а результатом всегда будет логическое, хорошо сконструированное утвердительное повествование. И здесь нельзя говорить об умысле или недобросовестности полицейского или следственного судьи. Однако все согласится, что обвиняемый, который ограничивается ответом „да“ на любой вопрос, выглядит несколько иначе, чем обвиняемый, многословно описывающий свои поступки и деяния. Но поскольку запись ведется под диктовку судьи, отличить одно от другого при чтении протокола невозможно. Таким образом возникает картина, не то чтобы неверная, а лишенная перспективы и рельефа, полутонов и теней, и это заставляет допускать истинность каждого элемента в отдельности, не будучи уверенным в истинности целого».

Приведенная пространная выдержка из романа Ж. Перро еще раз подтверждает существование кардинальных различий в суждениях, основанных на безликих текстах и реализуемых в процессе живого общения оппонентов. Учитывая, что основным режимом взаимодействия интеллектуальных систем с пользователем является режим непосредственного диалога, было бы чрезвычайно важно учесть в моделях общения и рассуждений особенности непосредственной коммуникации. В частности, была бы чрезвычайно полезна замена текстовых сообщений через терминалы интеллектуальных систем, которые пока доминируют в

общении человека с компьютерами, речевыми сообщениями с одновременным вводом в искусственную систему всего внеречевого окружения, сопровождающего устную речь. Но пока это дело будущего.

«Верую, ибо абсурдно!»

Это упоминавшееся уже изречение стало афоризмом. Тертуллиан использовал его, отказываясь от попытки объяснения догмата о троичной природе бога. Три ипостаси христианского бога не сводимы друг к другу, но тождественны между собой. В рамках формальной логики это приводит к нарушению ее основных законов и не дает возможности логически объяснить суть троичности бога. Тертуллиан в этих условиях поступил так, как поступает большинство людей при невозможности дать чему-либо логическое объяснение. Логика в этот момент отступает, и на первый план выступает либо ни на чем не основанное объяснение непонятого явления, либо вера в его истинность.

В первой главе мы говорили об асимметрии полушарий головного мозга, о различных принципах рассуждений, характерных для них. До сих пор мы рассматривали лишь левосторонние механизмы рассуждений, опирающиеся на некоторые логические в той или иной степени формализованные системы, на идею рационального рассуждения. Именно таким рассуждениям обучают в рамках европейской культуры. Но возможно обучение и иным способам постижения закономерностей окружающего нас мира. К сожалению, эти способы, характерные для правосторонних механизмов человека, слишком долго окутывала мистика, они вольно или невольно противопоставлялись «научным» методам постижения мира. При этом, однако, забывалось, что величайшие научные открытия часто происходили «сами по себе», в состоянии озарения, оказывались увиденными как бы внутренним зрением. Творческие способности человека всегда связывали с этими особыми состояниями его психики, когда поэтов посещает вдохновение а новая музыка начинает звучать для композитора столь явственно и законченно, что остается лишь записать ее.

Можно ли обучить человека переходу в эти состояния и постижению истин этим особым путем? Опыт, накопленный в последнее время и опирающийся на давнюю традицию ряда восточных школ, позволяет ответить на этот вопрос положительно. Основой такого обучения является всемерное развитие схем выводов по аналогии и ассоциации. И чем дальше друг от друга эти аналогии или ассоциации, тем более успешным будет обучение. С этой точки зрения схемы рассуждений по аналогии, которые мы описали в четвертой главе, еще слишком логичны и жестки.

В процессе обучения интуитивному (в отличие от формально-логического) постижению действительности необходимо преодолеть законы обычной логики, научиться мыслить вне их. Отсюда большое внимание, которое уделяется в методиках обучения правосторонним механизмам рассуждений метафоре, парадоксам и алогизмам. Когда-то, противопоставляя логику научного знания и поэтическую логику, П. Клодель писал:

«Старая логика имеет своим инструментом силлогизм, новая — метафору, новое слово, операцию, которая происходит только из соположения и одновременного существования двух различных вещей. Первая логика берет за отправную точку общее и абсолютное утверждение, приписывание — раз и навсегда — признака или атрибута субъекту. Без уточнения места и времени — солнце светит, сумма углов треугольника равна двум прямым. Эта логика создает, путем их определений, абстрактные индивиды, устанавливает между ними неизменные сериальные отношения. Ее прием — наименование, номинация. Когда все термины установлены, классифицированы по родам и видам в колонках ее перечней, проанализированы один за другим, она применяет их к любому заданному ей сюжету. Я сравню эту логику с первой частью грамматики, в которой определяется природа и функции различных слов. Вторая логика относится к первой как синтаксис».

В своем высказывании Клодель отмечает важную роль метафоры в правополушарных механизмах рассуждений. Другими словами, важность того, что за текстом скрывается нечто иное, чем то, что непосредственно в нем выражено. Основатель группы «Амаравелла», объединявшей художников, которые впервые в России стали писать Космос, Петр Фатеев в своем кредо, написанном в 1914 году, так сформулировал эту мысль: «В картине должно быть то, чего в ней нет».

Идея обучения через метафору и ее постижение наиболее полно была, по-видимому, воплощена в традиции дзен-буддизма (особенно той его ветви, которая в Японии получила название школы Риндзай). В процессе обучения ученикам предлагались специальные высказывания — *коаны*. Существовал канонический список коанов, в который входило около 1700 высказываний. Коаны формулировались в парадоксальной форме. Вот несколько примеров традиционных дзен-буддийских коанов.

1. Как будет звучать хлопок ладонью одной руки?
2. Человек держал в бутылке гуся. Гусь вырос и уже не мог выйти оттуда через горлышко. Нужно, не разбивая бутылки, освободить гуся. Как это сделать?
3. Вам прислали зеркало. Вы держите его в руках. Чье зеркало, ваше или того человека, кто прислал его?
4. Как выйти из круга рождения и смерти?
5. Будда — это кошка, прыгающая на стол.

После получения очередного коана ученик начинает размышлять над его смыслом. Несмотря на то, что ряд коанов как бы

содержит вопрос, отвечать на него надо не прямо, а путем подбора текста, представляющего собой либо одну из пословиц, распространенных в Древнем Китае, либо текст из собрания священных буддийских книг. О том, насколько хорошо соответствует по ассоциации текст ученика предложенному ему коану, судит учитель. Если он считает, что ассоциация удачна, то ученик получает очередной коан для размышления. Для стандартных коанов известны перечни стандартных ассоциативных ответов, которые были придуманы учениками или учителями ранее.

Например, стандартный ответ на первый из приведенных коанов — это пословица, в которой говорится о звуке тишины, а стандартный ответ на второй коан — текст, в котором бутылка ассоциируется с темницей окружающего человека материального мира, а гусь с его душой. Подобная тренировка мышления постепенно приводит к тому, что обучаемый получает возможность проводить рассуждения, отличные от стандартных логических построений, и находить взаимосвязи между фактами и явлениями, для которых эти связи найти рациональным путем не удастся.

Интересно, что системы пословиц и поговорок всех народов содержат высказывания типа коанов. Создается впечатление, что «народная мудрость» сознавала необходимость тренировки правосторонних механизмов мышления. Вот несколько примеров, взятых из русского фольклора: «Тише едешь — дальше будешь», «Быть бы ненастью, да дождь помешал», «Не сжег, а спалил», «Курилка бычка родила, поросенок яичко снес». Анализируя подобный корпус текстов фольклора, нетрудно убедиться, что все основные законы логики могут в пословицах и поговорках нарушаться безболезненно. Современные юмористы часто пользуются аналогичными приемами. Как, например, М. Генин, которому принадлежит следующая сентенция: «Чем меньше человек читает, тем больше у него остается свободного времени для чтения» (Литературная газета, 22 сентября 1982 г.).

А вот примеры из литературных произведений. Д. Хармс принадлежит следующая нелепица: «Был один рыжий человек, у которого не было глаз и ушей. У него не было и волос, так что рыжим его называли условно». В стихотворении «Мне осталась одна забава» С. Есенин говорит: «Но козь черти в душе гнездились — значит ангелы жили в ней».

Примеры из поэзии можно продолжать неограниченно. Но парадоксальность и абсурдность принадлежат не только ей. Французский писатель Б. Виан в своем романе «Пена дней» активно использует подобные приемы. Вот отрывок из его романа: «...я на цыпочках тише тихого двинулся к спальне матери Жасмен, которой отдал одну из лучших в квартире комнат,

что выходят окнами на улицу, а приходят, когда на них никто не смотрит, с другой стороны, лишь бы не выйти из себя вовсе». Льюис Кэррол в своих произведениях ошеломляет читателей каскадом парадоксов и алогизмов. Э. Ионеску — создатель театра абсурда, вкладывает в уста своих персонажей такие высказывания, как «Мне больше нравится птица в поле, чем песок в тачке» или «Если звонят, то у двери иногда кто-то есть, а иногда никого нет». В шедшей на протяжении двадцати лет серии фильмов с участием братьев Маркосов все время участвует некто Чико, который характеризуется одним из персонажей следующим образом: «Он выглядит идиотом, говорит как идиот, но пусть вас это не вводит в заблуждение — он в самом деле идиот».

В области нетрадиционных, «нелогичных» рассуждений, теория делает только робкие первые шаги, а интеллектуальные системы еще пребывают в полном неведении о таком способе решения проблем.

КРАТКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из того, что написано в этой книге, можно сделать следующие выводы, связанные с моделированием человеческих рассуждений в интеллектуальных системах.

1. Пока хорошо удается моделировать те рассуждения, которые носят достоверный характер и осуществляются в рамках некоторой формальной системы.

2. Достигнут определенный успех в области моделирования разного вида правдоподобных рассуждений.

3. Активно развиваются методы вывода, основанные на знаниях.

4. На начальной стадии находятся наши представления о тех системах рассуждений, которые связаны с системами ценностей и целей, присущих человеку. Интеллектуальные системы будущего, если мы ждем от них поведения и умения, подобных человеческим, не смогут без этого обойтись. А значит, моделирование рассуждений — открытое поле для исследований, свидетельствующее о молодости и перспективности этого научного направления, входящего в сферу исследований, называемых искусственным интеллектом.

И последнее: метафора левого и правого, проходящая через текст этой книги, по-видимому, имеет фундаментальный смысл. Во всяком случае, исследования в области истории культуры, проведенные в последние годы, свидетельствуют именно об этом. Дальнейшие исследования могут раскрыть некоторые тайны механизма человеческих рассуждений.

КОММЕНТАРИЙ

Глава первая

Чизхолм — мифический (подобно Мэрфи) ученый, персонаж научного фольклора США.

Правое и левое. При чтении этой книги может возникнуть вопрос о соотношении терминов «левостороннее» и «правостороннее мышление» с известными понятиями «рассудок», «разум» или «интеллект». В современной философско-психологической традиции понятия «рассудок» и «разум» связываются с двумя типами логического мышления. При этом механизм рассудка позволяет делать правильные логические выводы на основе имеющихся знаний, не порождая при своем использовании новых знаний. Деятельность механизмов рассудка можно назвать абстрактно-формальной. Разум дает знания, отличающиеся большей обобщенностью и глубиной. Его механизмы позволяют находить новые отношения между фактами и явлениями и формировать новые обобщенные понятия, т. е. механизмы, присущие разуму, способны порождать на логической основе новые значения. Наконец, интеллект — это относительно устойчивая структура умственных способностей конкретного человека, характеризующаяся наличием у него определенных знаний, способностей к логическим и ассоциативным умозаключениям и т. п. Как следует из того, что в книге говорится о левостороннем и правостороннем мышлении, эти два понятия не совпадают с понятиями разума, рассудка или интеллекта. Для выявления их взаимосвязи требуются специальные исследования.

Литература, посвященная функциональной асимметрии полушарий головного мозга у человека, достаточно богата, но быстро устаревает. Наиболее современное изложение состояния дел в этой области дано в монографии [1], которая частично была использована при написании книги. В этой монографии имеется достаточная библиография по данной проблеме. Отметим популярную книгу [2], в которой отражены некоторые иные, чем у нас, идеи и концепции, а также книгу [3], в которой деятельность правого полушария увязывается со сновидениями.

Хотелось бы подчеркнуть, что, несмотря на доминирование в нашем обществе людей с левополушарным мышлением, надо всегда помнить о том, что нравственные нормы, нормы морали, эффект сопереживания одного человека другому — это в основном прерогативы правого полушария, хотя возникли они не без участия левого полушария. Например, необходимость хранить знания, носителями которых были опытные члены племени, возраст которых не позволял им активно принимать участие в охоте и другой деятельности, требующей физических сил, привела к введению моральных законов типа «не убий». В последующие века эта «прагматическая» основа норм была забыта. При подавлении активности правого полушария возможно превращение человека в бесстрастную машину, для которой планирование на основе имеющейся цели всегда оправдано и при этом «цель оправдывает средства». К чему это может привести, в художественной форме описано в повести «Белый ящер» болгарского писателя П. Вежинова [4].

Пралогическое мышление. Исследование пралогического мышления, начатое Леви-Брюлем [5], было затем продолжено многими учеными. Для интересующих-

ся современным положением дел в этой области можно порекомендовать несколько книг, где затрагиваются те или иные аспекты особенностей мышления людей, для которых феномены правостороннего мышления продолжают играть важную роль [6—9]. Остальную литературу по этим вопросам можно разыскать по библиографии в указанных книгах. Повесть У. Голдинга, о которой упомянуто в данном разделе, помещена в сборнике его произведений [10]. При знакомстве с ней можно получить достаточно полное представление о том, как воспринимали окружающий мир наши далекие предки, почти неспособные к левостороннему мышлению. Примеры из румынского фольклора, приведенные в качестве иллюстраций, заимствованы из работы [11], в которой в наглядной форме описана структуризация окружающего человека мира с помощью бинарных и тернарных шкал.

Заметим в заключение, что термин «пралогическое мышление» многим отечественным и зарубежным исследователям не нравится. Часто вместо него говорят об образном мышлении или архаическом мышлении. Однако автору кажется более удачным термин, принятый в этой книге.

Дети, родители и взрослые. Материал этого раздела представляет собой вольное изложение ряда вопросов, затронутых в работах специалистов по транзакционному анализу. К сожалению, эти работы на русский язык не переводились. Поэтому в библиографии указаны две книги на английском языке [12, 13], в которых популярно излагаются основные положения транзакционного анализа.

Книга К. Сагана [14], ссылки на которую также есть в данном разделе, отстаивает идею триединого мозга, в котором две составляющие не связаны с речью. Как пишет К. Саган: «Мозг как бы состоит из трех биокомпьютеров, и каждый из них имеет свой собственный разум, свою собственную личность, собственное чувство времени и пространства, собственную память, двигательную и другие функции». Эти три «водителя» совместно управляют нейрошасси, состоящим из спинного мозга, продолговатого мозга и варолиева моста. Нейрошасси в автономном режиме обеспечивает все гомеостатические функции организма (регулирование дыхания, кровообращения и т. п.). На этом нейрошасси взаимодействуют между собой упоминавшиеся в тексте *R*-комплекс, лимбическая система и новые разделы коры правого и левого полушарий. В защиту своей модели организации функционирования мозга К. Саган приводит немало убедительных доводов.

Как рассуждает ребенок. В том обилии литературы, которая посвящена психологии ребенка и, в частности, тому, как развивается его мышление, можно утонуть, как в море. Немыслимо в рамках одной книги охватить всю проблему. Поэтому данный раздел, весьма фрагментарный, преследует лишь иллюстративную цель. Для тех, кому вопрос, связанный со становлением понятийного мышления у ребенка, интересен, можно указать несколько монографий, обобщающих представления по этому вопросу. Прежде всего это две классические работы [15, 16], лежащие в основе многих последующих исследований. Из более новых произведений можно указать на вполне доступные для неподготовленного читателя книги [17, 18]. Многое из того, что сказано в разделе, навеяно авторами работы [17]. Из этой же книги заимствованы некоторые примеры детских высказываний. Немалую коллекцию их можно найти и в хорошо извест-

ной книге [19]. Этапы постепенного развития естественных языков, связанные с овладением средствами для выражения тех или иных отношений, приводятся в книге Л. З. Совы [132].

Особенности человеческих рассуждений. Перечисление особенностей рассуждений, свойственных человеку, сделанное в этом разделе, конечно, не претендует на полноту. В серии выступлений на эту тему, которая предшествовала замыслу и написанию данной книги, автор неоднократно изменял этот перечень. Но, по-видимому, с развитием теории рассуждений он будет в дальнейшем изменяться еще не один раз. В работе [20] указаны некоторые особенности человеческих рассуждений, которые не вошли в перечень данного раздела.

Глава вторая

Что сделал Аристотель? Уже во времена Аристотеля и несколько позже него делались попытки построить теорию дедуктивных рассуждений. Но эти попытки либо не были доведены до завершения, либо оказались хуже теории Аристотеля. Современники их не приняли, и они затерялись на долгие столетия. В [21, 22] читатели найдут несколько примеров построения дедуктивных теорий, предпринятых до наступления нового времени.

Силлогистика Аристотеля. Более полное, чем на страницах этой книги, изложение силлогистики и ее модификаций можно найти в традиционных учебниках логики, например в [23, 24]. Рассказ «Пампукская хрюя» заимствован из [24], а цитата о скотном дворе, иллюстрирующая закон логического тождества, — из [25]. Заметим, что законы силлогистики неоднократно подвергались критике как специалистами по математической логике (особенно закон исключенного третьего, отказ от которого привел к появлению интуиционистской и конструктивной логик, обходящихся без него), так и философами, специализирующимися в области диалектической логики.

Интересные результаты, связанные с психологическими особенностями восприятия людьми силлогистических умозаключений, приведены в [26]. В этой же работе излагаются результаты исследований психологов, объясняющие феномен неправильного восприятия тех или иных фигур силлогизмов.

В работе [27] рассмотрен вопрос о влиянии межполушарной асимметрии человеческого мозга на реализацию силлогистических выводов. Оказалось, что способность к такому выводу есть порождение левополушарного мышления. При функционировании лишь правого полушария испытуемые затруднялись в силлогистическом выводе и пытались подменить его рассуждениями ампирического типа, опирающимися на практический опыт. Вот один из примеров, приведенных в [27]. Испытуемым предлагается силлогизм

Летом на широте Ленинграда белые ночи
Город Приморск находится на этой широте

Летом в Приморске белые ночи

Испытуемый с функционирующим левым и не функционирующим правым полушариями: «Да, в Приморске белые ночи, раз на той же широте». Другой испытуемый, у которого левое полушарие не функционирует: «Все равно не знаю, какие там ночи, кто его знает, где этот Приморск». В этих экспериментах левое

полушарие выступает как победитель, но в экспериментах с пониманием метафор, описанных в этой же работе, оно уступает пальму первенства правому полушарию. Это еще раз подчеркивает важность обоих типов мышления для реализации человеческих рассуждений.

Расширения силлогистики Аристотеля. Попытки расширения традиционной силлогистики Аристотеля за счет включения в нее условных высказываний, отрицательных высказываний и ряда других форм высказываний делались почти с самого начала возникновения силлогистики. В упоминавшихся уже исследованиях [21, 22] можно найти немало примеров этого. И в наше время попытки создания различных расширений силлогистики продолжают [23, 24, 28—31]. В книге [28], написанной со свойственным автору знаменитых приключений Алисы блеском, читатель найдет немало занимательных соритов, два из которых вошли в текст данного раздела. Заметим, что тот подход к силлогистике, который принят у Льюиса Кэрролла, во многом близок к тому, как моделируются рассуждения в исчислениях, описанных в третьей главе.

Моделирование силлогистики. Несмотря на многочисленные попытки построить автоматическую систему, способную делать правильные силлогистические выводы, такие системы не получили широкого распространения. В основном это связано с тем, что неавтоматизированным остается начальный этап — перевод текстов посылок в нормальную форму. Автоматизировать его непросто. Для этого необходимо иметь развитую систему трансформаций предложений для языка. В работе [32] эта проблема обсуждается весьма подробно. В частности, в ней рассматриваются и трансформационные преобразования для введения кванторов, чтобы привести высказывания к нормальной форме. Тем не менее, хотя имеются значительные успехи в области трансформационных грамматик для естественных языков, все еще не существует развитых лингвистических процессоров, которые были бы эффективны при моделировании силлогистики.

В качестве примера совсем недавней попытки создания силлогистической машины можно указать на спецпроцессор, имитирующий силлогистический вывод, разработанный в г. Краснодаре специалистами из Кубанского государственного университета. Время проверки одного силлогизма на истинность или время построения заведомо истинного силлогизма в этом спецпроцессоре составляет 0,02 с. Однако в этом спецпроцессоре также нет автоматического преобразования посылок в нормальную форму и нет средств, позволяющих выявлять связи между различными фактами, например выявлять противоречивость посылок, когда она носит не синтаксический, а семантический характер (для этого также требуется иметь развитую трансформационную грамматику, устанавливающую синонимию высказываний). Таким образом, в этом спецпроцессоре реализуются лишь те процедуры, которые характерны для двух блоков модели силлогистического вывода, показанной на рис. 18, расположенных над блоком «База фактов».

Интересно отметить, что новое — это часто полностью забытое старое. В газете «Русские ведомости» 16 апреля 1914 года была опубликована заметка «Мыслительная машина». В ней говорилось: «В субботу, 19-го апреля, в большой аудитории Политехнического музея состоится публичная лекция проф. А. Н. Шукарева на тему «Познание и мышление». Во время лекции будет демонстрирована мыслительная машина, аппарат, который позволяет воспроизвести механически процесс человеческой мысли, т. е. выводить заключения из по-

ставленных посылок. Машина была впервые построена математиком Джевансом и усовершенствована автором лекции. Результаты ее операций получаются на экране в словесной форме». Машина Шукарева была создана в Харьковском университете, а через 70 лет специалисты Кубанского университета, используя новую технику, повторили работу своего предшественника. Изложение истории создания логической машины Шукарева можно найти в [33]. В этой же работе говорится и о другой логической машине, созданной П. Д. Хрушовым.

Забытые науки. Возрождение этих наук только начинается. Поэтому на русском языке пока нет книг, в которых отражался бы современный уровень их понимания. Лишь книга [34] дает сведения о том, как использовались схемы рассуждений в алхимии. Эти рассуждения во многом определялись принципами установления аналогий, о которых мы говорили в четвертой главе. Некоторые сведения о приемах герменевтики и экзегетики можно получить из популярной статьи [35], опубликованной не так давно. Укажем еще на ряд труднодоступных, но интересных источников, в которых можно найти описание применения герменевтических схем в различных областях [36—39]. Для знающих немецкий язык можно отметить фундаментальный анализ герменевтических приемов, содержащийся в [40]. Использование подобных приемов с целью реконструкции способов рассуждения наших далеких предков стало сейчас довольно распространенным. Укажем в связи с этим на ранее упоминавшуюся работу [9], а также на исследование [41]. Некоторые сведения о логических системах Индии и Китая можно получить из [42—44].

Глава третья

Исчисление высказываний. Эта формальная система описана во всех руководствах по математической логике, например в [45]. Цитаты из Д. Самойлова заимствованы из сборника [46].

«**Логик-теоретик**». Существует весьма много программ, с помощью которых демонстрировались возможности ЭВМ при доказательстве выводимости формул в исчислении высказываний. Например, одна из первых работ в данной области [47] и первая отечественная система такого рода [48]. Программа «Логик-теоретик» была первым шагом на пути создания А. Ньюэллом и Г. Саймоном общей концепции решения творческих задач на ЭВМ на основе организованного эвристически перебора по лабиринту возможных альтернатив. Эта идея была воплощена ими в виде программы, названной «Общий решатель задач». Работы по этому кругу вопросов печатались неоднократно, например [49, 50]. Как позже выяснилось, подход к решению задач, реализованный в «Общем решателе задач», оказался не столь плодотворным, как думали авторы. Но для организации вывода в исчислении высказываний он удобен, хотя программа не всегда без большого перебора могла находить нужные пути по множеству альтернатив. В работах [49, 50] по этому поводу имеется немало экспериментальных наблюдений как над людьми, ищущими вывод, так и над работой программы «Логик-теоретик».

Исчисление предикатов. Исчисление предикатов описано во всех учебниках. Сошлемся на [45]. Проблема соответствия логики предикатов и силлогистики Аристотеля до сих пор вызывает некоторую полемику [31, 51]. Еще во второй

половине 40-х годов известный логик Я. Лукасевич построил специальную формальную систему для силлогистики [52]. Он оставил два квантора A и I , положив по определению, что $Esp = \neg Isp$ и $Osp = \neg Asp$. Выражения Asp и Isp Лукасевич отнес к элементарным (неделимым далее) формулам. В качестве аксиом он выбрал следующие четыре формулы: Ass ; Iss ; $(Amp \& Asm) \rightarrow Asp$; $(Amp \& Ims) \rightarrow Isp$.

Я. Лукасевич ввел три правила вывода: 1) в выводимую формулу вместо любой переменной типа s , p или t можно одновременно по всей формуле подставить любую формулу исчисления; 2) в выводимой формуле вместо любой переменной можно по всей формуле поставить другую переменную; 3) модус поненс.

Изложение вопросов, связанных с процедурами автоматизации доказательств, можно найти в монографии [53].

Первым универсальным методом доказательства был предложенный в 1965 году американским логиком Дж. Робинсоном метод резолюций. Его появление совершило переворот в использовании ЭВМ для доказательства теорем в исчислении предикатов. Начиная с работы самого Робинсона [54], возник огромный поток исследований в этом направлении. В монографии [53] на зафиксированном в ней временном срезе дан аналитический обзор всего сделанного в этой области. Но и до сегодняшнего дня всевозможные модификации метода Робинсона продолжают оставаться предметом публикаций.

Появление языка программирования ПРОЛОГ вновь стимулировало интерес к методу резолюций. Язык ПРОЛОГ, считающийся весьма перспективным для ЭВМ новых поколений, позволяет эффективно описывать выполняемые в нем процедуры в виде вывода в исчислении предикатов (точнее, в некоторой части этого исчисления, связанной с дизъюнктами Хорновского типа, исключающими некоторые типы выражений). А так как метод резолюций есть универсальная процедура для Хорновских дизъюнктов, то понятен тот интерес, который специалисты по программированию, созданию ЭВМ новых поколений и пользователи, оперирующие ПРОЛОГом, проявляют к методам типа метода резолюций.

Общая схема вывода. Описанное в этом разделе представление имеет куда большее значение, чем то, о котором в нашей книге идет речь. В теории искусственного интеллекта И-ИЛИ деревья и И-ИЛИ сети встречаются не только при моделировании рассуждений. Они широко используются при представлении знаний о проблемных областях разного типа. Находят они применение и в лингвистических процессорах, предназначенных для анализа текстов на естественном языке. В монографиях [55—57] заинтересованные читатели могут найти описание областей применения таких моделей. Идея метода обратного вывода принадлежит С. Ю. Маслову. Впервые она сформулирована в работе [58]. В настоящее время в СССР имеются версии программной реализации этого метода, во многом не уступающего по своей эффективности методу резолюций Робинсона. Рассказ Э. По, из которого приведена цитата, помещен в [59].

Глава четвертая

Стебаков Сергей Александрович — советский математик, специалист в области топологии, качественной теории дифференциальных уравнений и теории управления.

От Аристотеля до Бэкона. Историю становления учения об индукции до начала XX века содержит монография [60]. Для ознакомления с более поздним пониманием этих вопросов можно рекомендовать статьи из сборника [61]. Специально логике формирования гипотез посвящена работа [62]. Высказывание Р. Грегори о небиологичности дедукции и о роли индукции для живых организмов заимствовано из [63, с. 187].

Индукция Джона Стюарта Милля. Взгляды Милля изложены в его сочинении, вышедшем в 1843 году. Позже эта книга была переведена на русский язык [64]. Цитата из В. Луговского взята из поэмы «Сказка о дедовой шубе», вошедшей в книгу [65]. Все формулировки принципов Милля сделаны в соответствии с текстами из [60].

Читатели, знакомые с методами распознавания образов, должны почувствовать почти дословное совпадение принципов Милля с приемами, используемыми в обучении распознаванию и классификации с помощью обучающих выборок из примеров и контрпримеров. Первое и наиболее полное описание подобных приемов содержится в [66]. Другие подходы к решению подобных же задач имеются в многочисленных публикациях по распознаванию образов. Укажем лишь наиболее близкие по духу методы, описанные в работах [67—69]. Такая близость между индуктивными методами рассуждений и распознаванием (вернее, узнаванием и классификацией) образов еще раз подчеркивает верность замечания Р. Грегори, процитированного в предыдущем разделе.

Рассуждения по аналогии. Первой программой, в которой были реализованы принципы работы с пропорцией Лейбница была, по-видимому, программа «Аналогия», разработанная Т. Эвансом в конце 60-х годов. Она с успехом решала задачи типа задач на аналогию из известной книги головоломок Г. Айзенка [70].

Программа, находящая аналогии для множества родственников, была создана Д. Румельхартом и А. Абрахамсоном в 1973 году. Именно в ней была использована идея семантического пространства Осгуда. Метод построения этого пространства основан на следующих экспериментах. Испытуемым предъявляют около 400 шкал, на концах которых стоят слова-антонимы, описывающие признаки (например, добрый — злой, острый — тупой, быстрый — медленный). В середине шкалы находится нейтральное деление (оно отмечено словосочетаниями типа не добрый — не злой; не острый — не тупой; не быстрый — не медленный). Кроме того, на шкале имеется еще по несколько делений слева и справа от нейтрального деления. Они никакими словами не маркируются. Испытуемым задается (всем одинаковый) список слов (например, отец, дерево, шило и т. п.), и их просят расположить каждое из слов списка на всех шкалах. Многие шкалы испытуемым кажутся весьма неподходящими для расположения заданных слов (например, как разместить слово «отец» на шкале острый — тупой?). В этих случаях экспериментатор предлагает размещать их «как хочется». После этого шкалы с нанесенными на них словами подвергаются статистической обработке по методу факторного анализа и выделяются основные факторы.

Результатом опытов, проведенных по методу Осгуда, всегда является выделение трех главных факторов, устраняющих практически всю дисперсию. Эти три обобщенные шкалы обычно называют шкалами оценки, силы и активности. Они образуют оси пространства Осгуда. В этом пространстве понятия, близкие по своей семантике, образуют компактные скопления — кластеры. Одно из таких

скоплений образуют слова, использованные на рис. 25. Весьма много для анализа методов разрешения пропорции Лейбница сделал математик из ГДР Д. Пёчке. Его подход мы продемонстрировали при описании поиска B' для ситуации на рис. 26.

ДСМ-метод. Этот метод изложен в [71, 72]. Интересно, что его авторы, пожалуй, впервые описали его не на уровне алгоритмов и программ, реализующих эти алгоритмы, а на уровне некоторой формальной логической системы. До них попытку такого рода сделали лишь авторы ГУХА-метода, созданного для формирования гипотез на основе статистических методов и логических рассуждений [73]. Сравнение этих двух методов с точки зрения правил правдоподобного вывода, используемых в них, дано в работе [74]. В [75] высказано немало соображений об ошибочных умозаклчениях на основе наблюдаемых в экспериментах фактах. Многие из этих ошибок основаны на особенностях человеческих рассуждений, на неумении людей объективированно вводить оценки достоверности гипотез. В этой же книге дан анализ различных видов причин, частично использованный при написании данного раздела.

В настоящее время причинно-следственные отношения широко используются для описания знаний в интеллектуальных системах, например при описаниях течения разного рода заболеваний или знаний о последствиях многошагового управления в больших технических или организационных системах. Начинает создаваться специальная каузальная логика, в которой описываются общие процедуры для работы с причинно-следственными отношениями [76]. Интересно ознакомиться с работой [77], в которой решается ряд задач, аналогичных тем, которые решались и ДСМ-методом, но на иных принципах. Еще раз отметим близость многих постановок задач и методов их решения в индуктивных рассуждающих системах и системах распознавания образов, опирающихся на идею обучения на примерах [66].

Нечеткий вывод. Оператор «только» с логической точки зрения обсуждался в ряде работ, например в [78]. Приведенные в этом разделе примеры заимствованы из этой монографии, а также из [79]. Для углубленного знакомства с идеями нечетких множеств и различных методов, основанных на них, можно рекомендовать монографию [80]. Более подробно со схемами нечеткого вывода можно ознакомиться по соответствующим разделам книги [76], в которой, в частности, описана процедура порождения квантификаторов в заключительном утверждении, опирающаяся на идею «универсальной шкалы». И. В. Ежковой (ссылки на ее работы есть в [76]) в свое время был предложен принципиально иной метод определения квантификаторов заключения. Он основан на вычислении суперпозиции функций принадлежности для посылок в схеме, являющейся прямым обобщением на нечеткий случай правила вывода модус поненс.

Нечеткая силлогистика. Исследования в этой области — большое достижение специалистов нашей страны. Первые публикации по D -силлогизмам появились в 1984 году [81]. Они опираются на развитый С. В. Чесноковым детерминационный анализ (отсюда название D -силлогизмы), относящийся к обработке статистического материала, характерного для социологии и психологии [82]. История о силлогизме бабушки полностью заимствована из работы С. В. Чеснокова, которая на русском языке не публиковалась. Отголоски данной истории можно найти в [83]. Несколько иной взгляд на нечеткую силлогистику содержит-

ся в работах [84, 85], но общие принципы, лежащие в основе идеи «вычисления» значения нечеткого квантификатора, в этих исследованиях практически совпадают.

Коллекция схем. Систематические исследования в области схем умозаключений правдоподобного типа в середине 50-х годов начал известный математик Д. Пойа. Его монография [86], в которой описано более полусотни схем правдоподобных рассуждений, и сейчас является настольной книгой специалистов, работающих в этой области. Кроме схем, заимствованных из этого труда, в данном разделе приведен ряд схем, предлагавшихся в различное время на конференциях по искусственному интеллекту специалистами из разных стран.

Глава пятая

Что такое интеллектуальная система. В этой книге мы не можем уделить много места обсуждению особенностей систем, работа которых основана на знаниях. Кроме упомянутых в книге ЭВМ пятого поколения, интеллектуальных роботов для производства и экспертных систем можно указать еще на расчетно-логические системы, используемые в проектировании и планировании, интеллектуальные пакеты прикладных программ, облегчающие труд многих специалистов, системы автоматизации научных исследований и т. д. Все такие системы содержат базу знаний и блок, имитирующий профессиональные рассуждения. Более полное представление о специфике подобных систем и их работе можно получить из популярной [87, 88] и научной [89, 90] литературы.

Продукционные системы. Продукционные системы описывались в литературе неоднократно. Их модели, связанные с уточнением понятия алгоритма, излагаются, например, в [91]. В работах [92, 93] отражены многие аспекты применения продукции в интеллектуальных системах. Часто представление процессов в виде продукционных систем считают особым стилем программирования для ЭВМ новых поколений. Во всяком случае, с этой точки зрения они обладают рядом несомненных преимуществ по сравнению с классическими языками программирования.

Можно отметить по крайней мере три таких преимущества. Первое — естественная модульность, позволяющая весьма несложно вставлять и убирать продукции. Если в продукционной системе нет прямой связи между продуктами (например, нет ссылок на конкретные продукции в метапродукциях; выбирающих продукции из фронта или чего-нибудь подобного), то такая замена не вызывает никаких переделок. Однако при вставке и изъятии продукции надо учитывать и эффект их взаимодействия через базу знаний. Учет этого фактора может оказаться весьма непростым делом. Вторым преимуществом продукции является возможность одновременного описания с их помощью как фрагментов базы знаний, так и самих операторов преобразований. Другими словами, в продукциях можно однотипно описывать как декларативные, так и процедурные знания. Наконец, присущая продукциям асинхронность, встроенная в продукционные системы параллельность позволяют при наличии ЭВМ соответствующей архитектуры выполнять описываемую системой продукции процедуру параллельным способом. Однако за все приходится платить. И за эти достоинства продукционных систем, когда они выступают в качестве языка программирования, приходится расплачиваться весьма тяжелыми процедурами отладки и поиска ошибок.

Тем не менее подобный стиль программирования находит в мире все больше сторонников. Заметим, что известные языки программирования ПРОЛОГ и РЕФАЛ многое как бы «заимствовали» из продукционных систем. Отметим также, что в возникшем в нашей стране еще до работ в области искусственного интеллекта ситуационном управлении [76] системы, подобные продукционным, использовались для поиска решений при оперативном управлении в сложных технических и организационных системах. Это были так называемые системы логико-трансформационных правил [94]. Пример с преобразованием схем химических реакций в продукционную систему принадлежит Т. Яхно.

Управление выводом. Обзор различных методов управления выводом в продукционных системах можно найти в [92, 93]. Поскольку продукционные системы часто выступают в качестве средства представления знаний в экспертных системах и осуществляют с помощью некоторого механизма управления выводом вывод на знаниях, то об этих механизмах можно найти достаточно богатые сведения в литературе по экспертным системам. Укажем в связи с этим на обзорные работы [95, 96].

Вывод на семантической сети. Вывод с помощью «поиска по образцу» на семантической сети, как он описан в этом разделе, используется во многих экспериментальных образцах машин баз знаний. Для этого создаются специальные аппаратные средства. К выводу на семантической сети можно свести метод резолюций, описанный в третьей главе. Переход к семантической сети позволяет строить процедуры вывода, обладающие большим уровнем параллелизма. В работе [97] рассмотрен один из таких методов, позволяющий резко повысить эффективность логического вывода в современных ЭВМ. При имитации движения по семантическим сетям в виде прямых, обратных или встречных волн в ЭВМ новых поколений предполагается использовать специальные аппаратные средства и языки волнового типа. Работа [98] показывает, какие принципы при этом используются. С особенностями немонотонных рассуждений можно ознакомиться по книге [99]. В [100] содержится интересная информация о выводах, которые можно делать при неполных знаниях в базе.

Спрашивай — Отвечаем. Логика вопросов и ответов описана в [101]. Ее авторы сумели построить теорию вопросно-ответных отношений для ЛИ-вопросов, КАКОЙ-вопросов и частично для ПОЧЕМУ-вопросов. Логика такого вида обычно называются *эротетическими*. Для других типов вопросов, рассмотренных в данном разделе, логики пока не построены. Для того чтобы имитировать для вопросно-ответных отношений случаи неполноты информации в базе знаний или ее противоречивости, Н. Белнап предложил специальную четырехзначную логику, описание которой имеется в приложении к книге [101]. В этой логике наряду с обычными логическими оценками «Истина» и «Ложь» используются специальные оценки «Неизвестно» и «Истина и Ложь одновременно». Высказывание о мышлении специалистов в области археологии заимствовано из [102, с. 9]. Рассказ о космическом Ответчике помещен в [103].

Глава шестая

Рационален ли человек? Модель целенаправленного поведения, описанная нами, основывается на модели, предложенной в [104]. Из [105] заимствованы не-

которые примеры, опровергающие доминанту рационализма в поведении человека и его рассуждениях. В работе [104] показано, что модель рационального поведения человека обладает эмпирической, управленческой, методологической, теоретической и экзистенциальной ограниченностью.

«**Ты прав, но это меня не убеждает**». Проблемам логической аргументации посвящена монография [106]. В библиографии к этой книге интересующиеся могут найти новые источники по проблеме аргументации. Цитата из О. Сулейменова взята из [107, с. 8]. В работе [108] на конкретном примере продемонстрирован процесс аргументации, в котором представители Афин стараются изменить у жителей Мелоса систему исходных аксиом, чтобы Мелос отменил свое решение о присоединении его к коалиции городов, возглавляемых Афинами. Анализ этого процесса опирается на текст Фукидита, который включил в свою «Историю» эпизод дипломатических переговоров между Афинами и Мелосом. Таким схемам рассуждений посвящено исследование [109]. Типология споров, описанная в данном разделе, взята из этой книги.

«**Он думает, что...**». Материал этого раздела основан на результатах, содержащихся в книгах [110, 111]. Примеры использования таких рассуждений при решении некоторых задач поведения рассмотрены в [112, 113]. Отметим, что пока нельзя говорить о создании завершенной теории рефлексивных рассуждений, хотя важность такой теории не вызывает сомнений. Она станет особенно актуальной при возникновении коллективов интеллектуальных систем и необходимости организации совместного функционирования членов этого коллектива.

Еще один пример использования рефлексивных рассуждений дает рассказ Э. По «Пропавшее письмо» [59]. Герой этого рассказа сыщик Дюпен обнаруживает пропажу, пользуясь методом рассуждения по рефлексии, отождествляя свой интеллект с интеллектом противника. Этот метод Дюпен заимствовал у одного мальчугана, который, как правило, выигрывал в «чет-нечет» у своих противников, вычисляя их ранг рефлексии.

Текст и рассуждение. Исследования текста романа «Мастер и Маргарита», на которые имеются ссылки в данном разделе, содержатся в работах [114, 115]. В [115], кроме того, имеется столь же глубокий анализ ряда положений, скрытых за текстом книг Дж. Д. Сэлинджера. Выдержка из романа Ж. Перро взята из [116, с. 90, 92]. Исследования по теории пресуппозиции довольно многочисленны. Укажем на [117], в которой имеется библиография по этому вопросу.

Насколько работа над текстом может быть глубокой, показывает исследование [118]. Его авторы построили формальную систему, описывающую поведение тщеславного человека. Для этого они воспользовались максимами Ф. де Ларошфуко, считая их истинными утверждениями этой формальной системы. Анализируя данные высказывания, Ю. С. Мартмянов и Г. В. Дорофеев ввели систему аксиом и правил вывода, с помощью которых порождаются все утверждения Ларошфуко. Среди введенных аксиом были как общечеловеческие (например, «Человеку неприятно отсутствие приятного»), так и те, которые характерны для тщеславного человека (например, «Считать себя хуже других человеку неприятнее всех прочих страданий»). Кроме аксиом были введены шесть принципов поведения человека (например, принцип выбора: «Человек из двух зол всегда выбирает меньшее или необязательное, а из двух благ — большее или обязательное»). Среди введенных правил вывода известное правило модус поненс и два

специальных правила, одно из которых по форме напоминает последнее, но отличается от него тем, что заключение становится истинным не всегда, а лишь при отсутствии препятствий для его возникновения. Далее авторы доказали выводимость тех максим, которые имеются у Ларошфуко. В процессе этой работы было произведено логическое уточнение содержания понятий, используемых в тексте (таких, как «благо», «страдание», «скрывает» и т. п.), ибо в рамках формальной системы они должны получить однозначный смысл. Наконец, в построенной системе оказалось возможным вывести новые максимы, отсутствующие в тексте Ларошфуко, которые не противоречат законам мира тщеславного человека.

Не менее интересным является исследование [119], основанное на работе с текстами дневников Бисмарка. Анализируя дневниковые записи за определенный период, авторы построили систему ценностей, лежащую в основе тех действий, которые Бисмарк считал во внешней политике тогдашней Германии разумными. Затем на основе этой системы ценностей было произведено формальное построение его возможных действий в ситуации, не использовавшейся для предварительного анализа. Этот логико-формальный вывод оказался успешным.

В работе [120] подняты многие проблемы взаимосвязи системы ценностей, личностных эмоциональных состояний, рассуждений и поведения. И хотя в книге еще нет завершенной системы, способной в полном объеме связать между собой все эти компоненты, тем не менее многие пути к этому стали яснее. Интересно отметить, что, выявляя *ролевую структуру* слов в тексте, можно делать выводы, которые невозможно получить иным способом. И. Сильдмяз, много занимавшийся этой проблемой, приводит такой пример вывода:

Мужчина колот дрова топором
Топор был очень острым

Колоть дрова было легко

«Верую, ибо абсурдно!». Материал этого раздела, касающийся практики дзен-буддизма, заимствован в основном из [121]. Высказывание Клоделя о различии логик научного и поэтического познания мира содержится в [122]. Примеры абсурдных высказываний, имеющиеся в тексте этого раздела, а также многие другие примеры подобных высказываний можно найти в работах [123—127].

Краткое заключение. Об асимметрии познавательных процессов при дедуктивном и индуктивном выводах хорошо написано в книге [128]. На материале истории математики эта проблема обсуждается в [129], а на материале истории архитектурных стилей — в [130]. Результаты, аналогичные тем, что изложены в [130], касающиеся стиливых особенностей музыкальных произведений, опубликованы в [131].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глезерман Т. Б. Психофизиологические основы нарушения мышления при афазии.— М.: Наука, 1986.— 225 с.
2. Иванов В. В. Чёт и нечет (асимметрия мозга и знаковых систем).— М.: Сов. радио, 1978.— 184 с.
3. Ротенберг В. С., Аршавский В. В. Поисковая активность и адаптация.— М.: Наука, 1984.— 192 с.
4. Вежинов П. Измерения.— М.: Прогресс, 1982.— 293 с.
5. Леви-Брюль Л. Первобытное мышление.— М.: Атеист, 1930.— 337 с.
6. Кликс Ф. Пробуждающееся мышление.— М.: Прогресс, 1983.— 301 с.
7. Поршнев Б. Ф. Социальная психология и история.— М.: Наука, 1979.— 231 с.
8. Иорданский В. Б. Хаос и гармония.— М.: Наука, 1982.— 342 с.
9. Клочков И. С. Духовная культура Вавилонии: человек, судьба, время.— М.: Наука, 1983.— 203 с.
10. Голдинг У. «Шпиль» и другие повести.— М.: Прогресс, 1981.— 446 с.
11. Цивьян Т. В. Мифологическое программирование повседневной жизни/Этнические стереотипы поведения.— Л.: ЛО Наука, 1985.— С. 154—178.
12. Berne E. Games People Play.— N. Y.: Grove Press, Inc., 1967.— 192 p.
13. Harris T. A. I'm OK — You're OK.— London and Sydney: Pan Books, 1976.— 269 p.
14. Саган К. Драконы Эдема.— М.: Знание, 1986.— 255 с.
15. Выготский Л. С. Мышление и речь/Собр. соч. Т. 2. Проблемы общей психологии.— М.: Педагогика, 1982.— С. 10—361.
16. Пиаже Ж. Психология интеллекта.— М.: Просвещение, 1969.— 659 с.
17. Негневицкая Е. И., Шахнарович А. М. Язык и дети.— М.: Наука, 1981.— 110 с.
18. Лурия А. Р. Язык и сознание.— М.: МГУ, 1979.— 319 с.
19. Чуковский К. И. От 2 до 5.— М.: Детская литература, 1970.— 414 с.
20. Поспелов Д. А. О «человеческих» рассуждениях в интеллектуальных системах // Логика рассуждений и ее моделирование. Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР.— М., 1983.— С. 5—37.
21. Котарбинский Т. Избранные произведения.— М.: ИЛ, 1963.— 911 с.
22. Стяжкин Н. И. Становление идей математической логики.— М.: Наука, 1964.— 304 с.
23. Асмус В. Ф. Логика.— М.: Госполитиздат, 1947.— 386 с.
24. Остер Г. Как хорошо дарить подарки.— М.: Детская литература, 1975.— 34 с.
25. Окуджава Б. Свидание с Бонапартом.— М.: Советский писатель, 1985.— 285 с.
26. Хофман И. Активная память.— М.: Прогресс, 1986.— 309 с.
27. Черниговская Т. В., Деглин В. Л. Метафорическое и силлогистическое мышление как проявление функциональной ассиметрии мозга // Труды по знаковым системам.— Тарту: ТГУ, 1986.— Вып. 19.— С. 68—84.
28. Кэррол Л. История с узелками.— М.: Мир, 1973.— 407 с.
29. Войшвилло Е. К. Понятие.— М.: МГУ, 1967.— 285 с.
30. Джиджян Р. З. Расширенная силлогистика.— Ереван: Ерев. ГУ 1977.— 206 с.
31. Бочаров В. А. Аристотель и традиционная логика.— М.: МГУ, 1984.— 132 с.
32. Корельская Т. Д. О формальном описании синтаксической синонимии.— М.: Наука, 1975.— 252 с.
33. Поваров Г. Н., Петров А. Е. Русские логические машины. Кибернетика и логика.— М.: Наука, 1978.— С. 137—152.

34. Рабинович В. Л. Образ мира в зеркале алхимии.— М.: Энергоиздат, 1981.— 151 с.
35. Урнов Д. Прекрасная экзегеза // Знание—Сила.— 1986.— № 9.— С. 46—48.
36. Бласс Ф. Герменевтика и критика.— Одесса, 1891.— 194 с.
37. Горнфельд А. О толковании художественного произведения // Русское богатство.— 1912.— № 2.— С. 145—172.
38. Беляева-Экземпларская С. Н. Музыкальная герменевтика. Искусство.— 1927.— Кн. 4.— С. 127—138.
39. Саввантов П. Библийская герменевтика.— СПб: Типография Якова Трея, 1859.— 144 с.
40. Strack H. L. Einleitung in den Talmud.— Leipzig, 1908.— 254s.
41. Раевский Д. С. Модель мира скифской культуры.— М.: Наука, 1985.— 255 с.
42. Шербатской Ф. И. Теория познания и логика по учению позднейших буддистов.— Ч. 1. СПб, 1903.— 357 с.
43. Инголс Д-Г-Х. Введение в индийскую логику Навья-ньяя.— М.: Наука, 1975.— 237 с.
44. Янгутов Л. Е. Философское учение школы хуаянь.— Новосибирск: Наука, 1982.— 141 с.
45. Столл Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории.— М.: Просвещение, 1968.— 231 с.
46. Самойлов Д. Равноденствие.— М.: Художественная литература, 1972.— 287 с.
47. Ван-Хао. На пути к механической математике // Кибернетический сборник.— М.: ИЛ.— 1962.— Вып. 5.— С. 114—165.
48. Шанин Н. А., Давыдов Г. В., Маслов С. Ю. и др. Алгоритм машинного поиска естественного логического вывода в исчислении высказываний.— М.— Л.: Наука, 1965.— 39 с.
49. Ньюэлл А., Шоу Дж., Саймон Г. Эмпирические исследования машины «Логик-теоретик»; пример изучения эвристики // Вычислительные машины и мышление.— М.: Мир, 1967.— С. 113, 114.
50. Ньюэлл А., Саймон Г. GPS-программа, моделирующая процесс человеческого мышления // Вычислительные машины и мышление.— М.: Мир, 1967.— С. 283—301.
51. Субботин А. Л. Теория силлогистики в современной формальной логике.— М.: Наука, 1965.— 124 с.
52. Лукасевич Я. Аристотелевская силлогистика с точки зрения современной формальной логики.— М.: ИЛ, 1959.— 311 с.
53. Чень Ч., Ли Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем.— М.: Наука, 1983.— 358 с.
54. Робинсон Дж. Машинно-ориентированная логика, основанная на принципе резолюции // Кибернетический сборник. Новая серия.— М.: Мир, 1970.— Вып. 7 — С. 194—218.
55. Уинстон П. Искусственный интеллект.— М.: Мир, 1980.— 519 с.
56. Тыгу Э. Х. Концептуальное программирование.— М.: Наука, 1984.— 255 с.
57. Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления.— М.: Энергоиздат, 1981.— 231 с.
58. Маслов С. Ю. Обратный метод установления выводимости в классическом исчислении предикатов // ДАН СССР.— 1964.— Т. 159.— С. 17—20.
59. По Э. А. Полное собрание рассказов.— М.: Наука, 1970.— 799 с.
60. Минто В. Индуктивная и дедуктивная логика.— СПб, 1902.— 250 с.
61. Логика и эмпирическое познание.— М.: Наука, 1972.— 286 с.
62. Баженов Л. Б. Основные вопросы теории гипотезы.— М.: Высшая школа, 1961.— 68 с.
63. Грегори Р. Разумный глаз.— М.: Мир, 1972.— 209 с.
64. Милль Дж. Ст. Система логики силлогистической и индуктивной.— М.: 1914.— 880 с.
65. Луговской В. Стихотворения и поэмы.— М—Л.: Советский писатель, 1966.— 637 с.

66. **Бонгард М. М.** Проблема узнавания.— М.: Наука, 1967.— 320 с.
67. **Фу К.** Структурные модели в распознавании образов.— М.: Мир, 1977.— 315 с.
68. **Дуда Р., Харт П.** Распознавание образов и анализ сцен.— М.: Мир, 1976.— 511 с.
69. **Хант Э., Марин Дж., Стоун Ф.** Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине.— М.: Мир, 1970.— 301 с.
70. **Айзенк Г.** Проверьте свои способности.— М.: Мир, 1972.— 175 с.
71. **Финн В. К.** О машинно-ориентированной формализации правдоподобных рассуждений в стиле Ф. Бэкона — Д. С. Милля // Семиотика и информатика.— М.: ВИНТИ, 1983.— Вып. 20.— С. 35—101.
72. **Финн В. К.** Правдоподобные выводы и правдоподобные рассуждения // Итоги науки и техники: Теория вероятностей. Математическая статистика. Теоретическая кибернетика/ВИНТИ.— М., 1988.— Т. 28.— С. 62—142.
73. **Гаск П., Гавранек Т.** Автоматическое образование гипотез.— М.: Наука, 1984.— 277 с.
74. **Ивашко В. Г.** Об одной формализации индуктивных рассуждений для экспертных информационных систем // НТИ. Сер. 2.— 1984.— № 8.— С. 28—32.
75. **Джини К.** Логика в статистике.— М.: Статистика, 1973.— 128 с.
76. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление. Теория и практика.— М.: Наука, 1986.— 284 с.
77. **Розенблит А. Б., Голендер В. Е.** Логико-комбинаторные методы в конструировании лекарств.— Рига: Зинатне, 1983.— 351 с.
78. **Лосский Н. О.** Логика. Часть первая.— Берлин: Обелиск, 1923.— 166 с.
79. **Ревзин И. И.** Современная структурная лингвистика.— М.: Наука, 1977.— 263 с.
80. **Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/** Под ред. Д. А. Поспелова.— М.: Наука, 1986.— 311 с.
81. **Чесноков С. В.** Силлогизмы в детерминационном анализе // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1984.— № 5.— С. 55—83.
82. **Чесноков С. В.** Детерминационный анализ социально-экономических данных.— М.: Наука, 1982.— 168 с.
83. **Чесноков С. В.** Вычисление точности D-силлогизмов в статистике таблиц сопряженности // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1985.— № 1.— С. 141—144.
84. **Ефимов Е. И.** Исчисление правдоподобностей в нестрогих человеческих рассуждениях // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1985.— № 5.— С. 60—75.
85. **Ефимов Е. И.** Детерминационное исчисление.// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1986.— № 5.— С. 62—81.
86. **Пойа Д.** Математика и правдоподобные рассуждения.— М.: ИЛ, 1957.— 535 с.
87. **Поспелов Г. С., Поспелов Д. А.** Искусственный интеллект — прикладные системы.— М.: Знание, 1985.— 48 с.
88. **Печерский Ю. Н.** Интеллектуальные системы.— Кишинев: Штиинца, 1987.— 84 с.
89. **ЭВМ пятого поколения.** Концепции, проблемы, перспективы.— М.: Финансы и статистика, 1984.— 110 с.
90. **Широков Ф. В.** На пути к пятому поколению компьютеров/Международный научно-исследовательский институт проблем управления.— М., 1985.— 170 с.
91. **Кузнецов В. Е.** Математические построения в К-системах // Семиотика и информатика.— 1986.— Вып. 27.— С. 62—81.
92. **Нариньяни А., Яхно Т.** Продукционные системы // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах/ВИНТИ — М., 1984.— Том А.— С. 136—177.
93. **Нариньяни А. С.** Система продукций как модульный программный комплекс // Прикладные и экспериментальные лингвистические процессоры/ВЦ СО АН СССР.— Новосибирск, 1982.— С. 125—152.

94. **Лозовский В. С.** Ситуационная и дефиниторная семантика системы представления знаний // Кибернетика.— 1979.— № 2.— С. 98—101.
95. **Микулич Л. И.** Проблемы создания экспертных систем // Теория и модели знаний (Теория и практика создания систем искусственного интеллекта).— Тарту: ТГУ, 1985.— С. 87—114.
96. **Алексеева Е. Ф., Стефанюк В. Л.** Экспертные системы.— состояние и перспективы // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1984.— № 5.— С. 153—167.
97. **Вагин В. Н.** Параллельная дедукция на семантических сетях // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1986.— № 5.— С. 51—61.
98. **Сапаты П. С.** Язык ВОЛНА—О как основа навигационных структур для баз знаний на основе семантических сетей // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика.— 1986.— № 5.— С. 198—210.
99. **Сандеваль Э.** Правила немонотонного вывода для случаев множественного наследования информации с наличием исключений // ТИИЭР.— 1986.— Т. 74.— № 10.— С. 58—68.
100. **Уилкс Й.** Рассуждение при отсутствии явной информации и знании о себе // ТИИЭР.— 1986.— Т. 74.— № 10.— С. 119—125.
101. **Белнап Н., Стил Т.** Логика вопросов и ответов.— М.: Прогресс, 1981.— 288 с.
102. **Гарден Ж.-К.** Теоретическая археология.— М.: Прогресс, 1983.— 295 с.
103. **Шекли Р.** Верный вопрос // Миры Роберта Шекли.— М.: Мир, 1984.— С. 47—57.
104. **Наумова Н. Ф.** О системном описании целенаправленного поведения человека // Системные исследования. Ежегодник 1979.— М.: Наука, 1980.— С. 220—239.
105. **Наумова Н. Ф.** Человек рационален? // Знание — сила.— 1981.— № 10.— С. 32—34.
106. **Брутян Г. А.** Аргументация.— Ереван: АН АССР, 1984.— 104 с.
107. **Сулейменов О.** Аз и Я. Книга благонамеренного читателя.— Алма-Ата: Жазушы, 1975.— 302 с.
108. **Сергеев В. М.** Структура диалога и «неклассические» логики // Труды по знаковым системам.— Тарту: ТГУ, 1984.— Вып. 17.— С. 24—32.
109. **Поварнин С.** Спор. О теории и практике спора.— Петроград: Изд-во О. Богдановой, 1918.— 109 с.
110. **Лефевр В. А.** Конфликтующие структуры.— М.: Высшая школа, 1967.— 85 с.
111. **Лефевр В. А.** Конфликтующие структуры.— М.: Сов. радио, 1973.— 158 с.
112. **Варшавский В. И., Поспелов Д. А.** Оркестр играет без дирижера.— М.: Наука, 1984.— 207 с.
113. **Гаазе-Рапопорт М. Г., Поспелов Д. А.** От амебы до робота: модели поведения.— М.: Наука, 1987.— 285 с.
114. **Магомедова Д. М.** «Никому не известный композитор-однофамилец ...» (о семантических аллюзиях в романе М. А. Булгакова «Мастер и Маргарита») // Изв. АН СССР. Серия литературы и языка.— 1985.— № 1.— С. 83—86.
115. **Галинская И. Л.** Загадки известных книг.— М.: Наука, 1986.— 125 с.
116. **Перро Ж.** Красный пуловвер.— М.: Прогресс, 1985.— 335 с.
117. **Разлогова Е. Э.** Логические отношения между смыслом и его компонентами // НТИ. Сер. 2 — 1982.— № 1.— С. 14—20.
118. **Мартемьянов Ю. С., Дорофеев В. Г.** Опыт терминологизации литературной лексики (о мире тшеславия по Ф. де Ларошфуко) // Логика рассуждений и ее моделирование/Науч. совет по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР.— М.: 1983.— С. 38—103.
119. **Луков В. Б., Сергеев В. М.** Опыт моделирования мышления исторических деталей: Отто фон Бисмарк, 1866—1976 // Логика рассуждений и ее моделирование/Науч. совет по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР.— М., 1983.— С. 148—161.
120. **Ишмуратов А. Т.** Логический анализ практических рассуждений. Киев: Наукова думка, 1987.— 138 с.

121. **Померанц Г. С.** Традиция и непосредственность в буддизме ЧАНЬ (ДЗЕН) // Роль традиций в истории и культуре Китая.— М.: Наука, 1972.— С. 74 — 86.
122. **Claudel P.** Reflexions sur la poesie.— Paris: Gallimard, 1967.— 185 p.
123. **Михеева А.** Когда по сцене ходят носороги ... Театр абсурда Эжена Ионеску.— М.: Искусство, 1967.— 175 с.
124. **Падучева Е. В.** Тема языковой коммуникации в сказках Льюиса Кэрролла // Семиотика и информатика/ВИНИТИ.— М., 1982.— Вып. 18.— С. 76—119.
125. **Левин Ю. И.** Логико-семиотический эксперимент в фольклоре // Семиотика и информатика/ВИНИТИ.— М., 1981.— Вып. 16.— С. 145—162.
126. **Трауберг Л.** Мир наизнанку.— М.: Искусство, 1984.— 391 с.
127. **Виан Б.** Пена дней.— М.: Художественная литература, 1983.— 320 с.
128. **Маслов С. Ю.** Теория дедуктивных систем и ее применения.— М.: Радио и связь, 1986.— 133 с.
129. **Яглом И. М.** Почему высшую математику открыли одновременно Ньютон и Лейбниц? (Размышления о математическом мышлении и путях познания мира) // Число и мысль.— М.: Знание, 1983.— Вып. 6.— С. 99—125.
130. **Маслов С. Ю.** Асимметрия познавательных механизмов и ее следствия // Семиотика и информатика/ВИНИТИ.— М., 1983.— Вып. 20.— С. 3—31.
131. **Данилова О. Н., Петров В. М.** Периодические процессы в музыкальном творчестве.— Природа, № 10, 1988.— с. 54—59.
132. **Сова Л. З.** Эволюция грамматического строя в языках банту.— Л.: ЛО Наука, 1987.— 364 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. У истоков формальных рассуждений	5
Правое и левое	5
Пралогическое мышление	9
Дети, родители и взрослые	16
Как рассуждает ребенок	24
Особенности человеческих рассуждений	27
Глава вторая. Силлогистика и герменевтика рассуждений	31
Что сделал Аристотель?	31
Силлогистика Аристотеля	34
Расширения силлогистики Аристотеля	46
Моделирование силлогистики	55
Забутые науки	62
Глава третья. Автоматизация достоверных рассуждений	70
Исчисление высказываний	70
«Логик-теоретик»	76
Исчисление предикатов	79
Общая схема вывода	83
Глава четвертая. Автоматизация правдоподобных рассуждений	87
От Аристотеля до Бэкона	87
Индукция Джона Стюарта Милля	90
Рассуждения по аналогии	98
ДСМ-метод	105
Нечеткий вывод	110
Нечеткая силлогистика	117
Коллекция схем	122
Глава пятая. Вывод в базе знаний	124
Что такое интеллектуальная система	124
Продукционные системы	131
Управление выводом	135
Вывод на семантической сети	140
Спрашивай — Отвечаем	147
Глава шестая. Рассуждения и поведение	151
Рационален ли человек?	151
«Ты прав, но это меня не убеждает»	153
«Он думает, что ... »	156
Текст и рассуждение	161
«Верую, ибо абсурдно!»	163
Краткое заключение	166
Комментарий	167
Список литературы	179

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССУЖДЕНИЙ

