

Логика для биологов

*Фридман Марина Владиславовна
Фридман Владимир Семёнович*

**Институт общей генетики
Биологический факультет МГУ**

**Москва
2006**

Почему классическую логику привёл в систему первый античный биолог, но сейчас биологи её не изучают?

Как приготовить мысль "для общего употребления"?

Систематика и логика - две сестры.

Можно ли формально описать не только свойства, но и отношения?

Как восстановить родословное дерево, и чем оно может быть полезно?

Какой науке нужны все четыре причины Аристотеля?

Что мы имеем в виду, когда говорим "случайность"?

Одинаковым ли образом "нет конечностей" у рыб и змей?

Какие качества личности нужны исследователю и почему они плохо совместимы друг с другом?

Как соотносятся аристотелевская и математическая логика?

Почему русские купцы упускали свою выгоду при торговле с иностранцами?

Что общего у авторов *Gene Ontology* и петербургского гробовщика?

Совершает ли обман профессор, поставивший студенту двойку?

Что легче для шимпанзе: разделять понятия, или обобщать их?

Всегда ли стоит избавляться от логического круга?

Почему некогда классическую силлогистику знали все образованные люди, а сейчас математическую логику - только некоторые?

Способна ли эволюционировать электронная схема?

Только ли в технике встречаются конструктивные противоречия?

Что такое идеальное в биологии?

Рецензент – кбн. Беркинблит М.Б. (ИППИ РАН)

Предисловие.

Однажды к Ходже Насреддину пришли два жалобщика.

Один сказал:

- Этот человек укусил меня за ухо.

Другой стал божиться:

- Он врёт! Он сам укусил своё ухо.

Ходжа долго думал, а потом сказал

- Идите и приходите через полчаса.

*Он запер дверь и начал пробовать – может ли он уку-
сить себя за ухо. Сколько Ходжа ни старался, у него ни-
чего не получалось. Наконец, он так сильно упал, что
разбил себе голову. Через полчаса опять пришли жа-
лобщики. Ходжа закричал на второго:*

*- Если он сам укусил себя за ухо, то почему не разбил
головы? Ты нагло врешь!*

Формализация обычно повышает эффективность метода за счёт увеличения требований к строгости при его применении. Выдержать в биологических рассуждениях критерии логической строгости достаточно сложно. Таким образом, встаёт вопрос: нужно ли биологу изучать логику? Однако если главной целью считать способность вовремя усомниться и вовремя задать вопрос, новизну, содержательность и практическую применимость получаемых выводов, то знакомство с логическими построениями оказывается значимым и важным. Шутливой иллюстрацией к этому тезису может быть приведённая в эпиграфе история. Самым важным для Ходжи оказывается выдержать основной принцип (в данном случае принцип экспериментальной проверки), тогда даже небезупречная логика помогает ему найти верный ответ. Как источник идей и образов логические структуры, с нашей точки зрения могут быть для биологов достаточно продуктивны. С целью показать это мы обращались к идеям самых разных биологов, в том числе отечественных. Их авторы зачастую исходили из разных философских предпосылок. Однако

логика, как она не широка, всё же гораздо уже и формальнее философии, поэтому на уровне логики эти идеи и концепции, на наш взгляд, нередко стыкуются друг с другом в достаточно работоспособные конструкции. Основная цель нашей книги – учебная, поэтому она неизбежно компилятивна и схематична. Далеко не всех наших коллег, идеи которых в ней использованы, мы смогли назвать поимённо (иначе объём этого пособия неизбежно разросся бы раза в два, а вразумительность упала бы пропорционально). В качестве извинения скажем, что идеи, которые упоминаются без имени автора, безусловно, проходят уже по ведомству классики. Даже будучи оспорены, они всегда могут возродиться в иной области науки или «на повышенном основании».

Что же касается частных научных примеров, то почти все они освещены так, как их представляют себе лично авторы пособия. Таким образом, содержащиеся в них утверждения не должны рассматриваться как истина в последней инстанции. Однако они, как нам кажется, не выходят за рамки допустимого и приемлемого в нашей науке и уже поэтому могут быть примером того «как рассуждают биологи».

Книга содержит практически все материалы, которые должны быть включены в традиционный учебник логики и вполне может использоваться в этом качестве. Для этого достаточно знакомства с материалом, напечатанным крупным шрифтом. Неопытному читателю мы тоже рекомендовали бы сначала начинать с него. Уже эта часть книги содержит главным образом биологические примеры, и наиболее подробно останавливается на полезном для биолога материале. Мелкий шрифт предназначен как для тех, кто хочет больше узнать про логику, так и для тех, кто хочет понять «как это работает в биологии».

Авторы признательны д.б.н. Ф.Я.Дзержинскому за обсуждение и правку эволюционно-морфологического материала.

Мы благодарны М.Б.Беркинблиту за поддержку в работе и предоставление прав на использование материала своей книги. Мы признательны А.С.Раутиану за возможность использовать его таблицы по эволюционной морфологии позвоночных.

Авторы выражают благодарность А.В.Жердеву и другим сотрудникам Всесоюзной заочной многопредметной школы, поддержавшим нас в нашей работе и высказавшим много важных замечаний. Мы благодарны за замечания также А.Л.Гавронскому и Н.Максимовой.

Авторы будут благодарны всем, кто пожелает участвовать в обсуждении этой книги.

*Посвящается князю Андрею Курбскому,
автору и переводчику
первых русских книг по логике¹
«Сказ о логике» и «От другие диалектики
Иоанна Спанъинбергера о силогизме вы-
толкована»¹*

Глава 1. Предмет и задачи логики. Формальная логика. Математическая логика

Эта книга посвящена логике, науке, которая скорее всего никогда не значилась в Вашем расписании, но которой вы, тем не менее, постоянно занимались. Без умения рассуждать логически Вы вряд ли одолели бы любую научную дисциплину, да и просто вряд ли дожили бы до своих лет. Ведь логика изучает общезначимые правила, пользуясь которыми разные люди могут придти к одинаковым суждениям о том, что считать истинным, а что – ложным. Не секрет, что разные люди по-разному решают задачи или по-разному проверяют, верно ли они представляют себе какой-либо предмет. Но вот объяснять другому своё решение им приходится каким-либо из общепринятых способов – иначе нельзя.

Коль скоро логика имеет отношение не столько к индивидуальным способам мыслить, сколько к общезначимым правилам проверки решения, думать логически обычно не очень удобно. Разные люди и разные общест-

¹ Как известно, Андрей Курбский после побега в Литву поражал соседей проявлениями дикого барства. Однако вероотступником он не был и остро чувствовал необходимость поддержать самостояние православного населения перед лицом более образованной и сильной в религиозных спорах католической верхушки. С этим связано написание им книг по логике.

ва постоянно отступают от строгих законов логики и так же постоянно изобретают их или возвращаются к ним. Это происходит, прежде всего, в тех случаях, когда им необходимо решать и действовать сообща – в науке, в политике, в юриспруденции. Древние греки были первым народом, перед которым неотвратно встала такая необходимость, поэтому в этом пособии мы будем нередко их вспоминать, несмотря на, то, что греки времён изобретения логики были действительно древними.

Истинность или ложность определяются лишь в отношении к окружающему миру. Поэтому логика имеет отношение и к законам этого мира, и к тому, как мы¹ их познаём. В сущности, логика описывает условия, которым

¹ «Мы» в данном случае – это не просто люди как индивиды, а люди как члены общества, тем более что лишь определённый уровень развития социальных отношений позволил живому существу воспринимать мир как объективную реальность и, восприняв таковую, отличать мир от кажимости. Для животного реальное слито с кажущимся (данным в ощущениях) в некий целостный сплав внешнего мира (*die Umwelt* фон Юксюля), составленного из «полезных для выживания» частей первого и второго. К тому же животное обычно взаимодействует лишь с заранее определённой частью природы, которая задана его видовыми особенностями. Пчела отлично обучается отличать объекты разного цвета, но её нельзя научить лететь на свет определённого цвета, так как в её мире такая задача не встречается. Мир живых существ становится бесконечным и лишь частично предсказуемым «на подходе» к человеку, у некоторой части птиц и млекопитающих.

Только антропоиды умеют производить орудия, с помощью которых можно что-то сделать с объектами внешнего мира, подстроить их к себе, переделать их по некому образцу. Только на основе способностей антропоидов к созданию простейших концептов – идей, на основании которых можно направленно воздействовать на реальность, менять её в желаемую сторону, может развиваться язык. Его, в свою очередь, можно использовать для описания любых новых объектов внешнего мира – даже таких, которые не существовали и не могут существовать (например, рай, ад и лимб в «Божественной комедии» Данте). Наконец, только антропоиды имеют зачатки рефлексии, то есть на основании определённого опыта наблюдений за поведением людей и других обезьян они могут понять, какое из демонстрируемых им действий истинно (и его плодами можно смело пользоваться), а какое ложно, в смысле, что показанному не надо верить, и пользоваться результатами наблюдения здесь нельзя. С этого и начинается логика – страховочный канат, пользуясь которым можно исследовать не вполне знакомый и не до конца понятный мир.

должна отвечать уже готовая «для общего употребления» мысль, если она сколько-нибудь полно соответствует своему объектуⁱⁱ.

Понятно, что если эти условия выполнены, то **гарантий** такого соответствия они всё-таки не дают. Понятно также, что порождать новые мысли, строго следуя этим условиям, не всегда возможно, хотя следуя этим условиям оформлять и упорядочивать их «для всех» - полезно и необходимо. Причём полноценная мысль и существует только после такого оформления и упорядочения. Как «вырастить» наиболее содержательную и общезначимую мысль – область уже не собственно логики, а методологии науки. Если логика – «правила» для индивидуального ума (хотя и открытого для общения), то развитие научной мысли происходит коллективно, через отклики исследователей на идеи и результаты коллег.

Чем с более общими законами мы имеем дело, тем они абстрактнее и формальнее. Так бывает, когда школьники сначала складывают и умножают конкретные числа, а, научившись этому, переходят к алгебре, и мучаются с загадочными **a**, **b** и **x**. Однако с помощью алгебры они вскоре уже могут записать любой общий закон, который раньше учили на словах, нередко путаясь. Например, вы, не задумываясь, используете при решении задач правило **$a(b+c)=ab+ac$** , а попробуйте-ка вспомнить его словесно.

Формальная логика обобщает законы мышления таким образом, чтобы после соответствующего представления исходных посылок кто угодно (даже машина) мог вывести из этих посылок логически правильное заключение. К сожалению, именно с правильным представлением посылок обычно и связаны главные сложности.

Математическая логика позволяет вывести законы формальной логики и понять связь между ними, исполь-

зую понятия и способы доказательства, принятые в математике (например, понятие множества). Мы будем пользоваться ее достижениями и представлениями в готовом виде, не разбирая математической стороны дела. В главах 19, 20, 22, 23 представления математиков и выводы, которые из них вытекают, будут рассмотрены более детально.

В наше время специально изучают логику обычно математики и гуманитарии (например юристы). И мало кто помнит, что логика была разработана Аристотелем прежде всего для решения проблем естественных наук. Кроме формальных правил, в ней обсуждались содержательные проблемы, например, представление о причинах.

Биологам стоит вернуться к этой традиции. Уже сотню лет они стараются создать свою собственную «теоретическую биологию» (на манер теоретической физики) и никак не получается. В конце XIX и начале XX века проблема состояла скорее в недостатке экспериментального подтверждения. Его недоставало каждой из «важных идей» идей биологии той поры, от идей о природе гена до идей о факторах биологической эволюции. Соответственно, усилия натуралистов для развития биологической теории тогда были гораздо важнее, чем работа теоретического ума по «шлифовке» и «доводке» выдвигаемых концепций.

Сейчас – наоборот: созданию теоретической биологии угрожает скорее не дефицит наблюдений, а перепроизводство гипотез, теорий, и моделей, выдвигаемых для объяснения каждого корпуса фактов. Среди них всё труднее отобрать лучшую для проверки и теоретического развития. Чтобы всё-таки это осуществить, во-первых, надо владеть логикой в собственной интеллектуальной работе, причём биологу в большей степени, чем математику или физику – уж слишком изменчивы, плохо определены и нечётко выделены его объекты (что вид, что экосистема, что ген или популяция)ⁱⁱⁱ.

Во-вторых, самой логике стоит вернуться к аристотелевской традиции и начать обсуждение содержательных проблем, относящихся к тому, как «устроен мир», исследуемый рефлектирующим разумом. Для биолога человеческий разум приспособлен к объективному мироустройству точно так же, как копыто лошади к степным ландшаф-

там, вплоть до тождества механизмов приспособления, и странно ограничивать логику только анализом суждений и высказываний самого субъекта познания^{iv}.

Если логика – это страховочный трос познающего разума, то биологам в самый раз научиться им пользоваться. Если логике следует заинтересоваться устройством объективного мира, чтобы лучше понять источники её собственных законов, то живое, биология, изучающая живое – лучшее место приложения подобных усилий.

Глава 2.

Понятия. Множества. Свойства и отношения

Логическое мышление оперирует **понятиями**. Что же такое понятие? Понятие есть мысль, в которой отражаются отличительные свойства предметов и отношения между ними.

Как устроено понятие? Может быть, вам удастся лучше в этом разобраться, вспомнив множества, которые вы изучали в школе. Множество – почти то же самое, что и понятие, но не совсем. Вы можете по своему произволу взять какой-то набор элементов и объявить его множеством. Например, {1, 4, 371}. Или {остров Таити, пролив Дрейка, Полярная звезда}. С понятием такой способ не пройдёт – входящие в набор элементы должны быть связаны какой-то мыслью. Например, мысль о таком свойстве человека, как мудрость, даст нам множество: {Сократ, Эзоп, ..., Спиноза, ..., , ...}. В данном случае элементами послужили объекты окружающего мира. Мы выделили их по определённому свойству. Можно было выделить объекты и по набору свойств – например, взять только тех мудрецов, которые живут в наше время, или только тех, которые занимались философией.

Вопрос1¹. Запишем множество, которое соответствует понятию "*хищные млекопитающие*" (не путать с отрядом Хищные!): {волк, ..., белый медведь, ..., морской леопард, ..., касатка}. Как Вы думаете, его элементы – это объекты окружающего мира (например, собака Тузик) или что-то иное?

Какие ещё элементы могут составлять множество, соответствующее определённому понятию? Это не только отдельные объекты, но и **свойства** объектов (качественные и количественные признаки), а также их **связи и отношения**. Например, понятию "*достоинства человека*" соответствует множество {мудрость, ..., справедливость, ..., доброта, ..., честность...}, то есть множество, элементами которого являются свойства.

Разберёмся теперь с отношениями. Отношения связывают упорядоченные пары (или тройки, четвёрки...) элементов. Допустим, вы объясняете маленькому ребёнку, что такое отец. "Дядя Миша – отец Юли, дядя Лёша – отец Васи и Кати, дядя Сёма – отец дяди Володи", – говорите вы. Множество, соответствующее отношению "*быть отцом кого-то*", выглядит так: {(дядя Миша, Юля), (дядя Лёша, Вася), (дядя Лёша, Катя), (дядя Сёма, дядя Володя), ...}.

Упражнение 1. Пользуясь элементами предыдущего множества, напишите кусочек множества, которое соответствовало бы отношению "*быть сыном*". Могут ли входить в это множество пары, у которых первые элементы совпадают, а вторые - разные? Могут ли

¹ Ответы на **упражнения** желательно разбирать сразу же по ходу чтения. **Вопросы** предполагают самостоятельную работу. **Задачи** тоже предназначены для самостоятельной работы, но могут потребовать более серьёзных биологических знаний или более существенных умственных усилий. И упражнения, и вопросы, и задачи играют важную роль, поскольку некоторые проблемы можно полноценно обсудить лишь на конкретном примере.

входить в это множество пары, у которых вторые элементы совпадают, а первые - разные?

Понятию "*быть ближайшим кровным родственником*" соответствует множество {"*быть отцом*", "*быть матерью*", "*быть сыном*", "*быть дочерью*", "*быть сестрой*", "*быть братом*"¹}. Точно так же, как у одного элемента может быть несколько свойств, пара объектов может быть связана сразу несколькими связями (например, мой брат может быть также моим другом).

Вопрос 2. Приведите два-три примера биологических видов, представители которых могут быть связаны в сообществе (биоценозе) сразу несколькими связями. Если вы знаете названия отношений, соответствующих этим связям, то укажите их (например, трофические - пищевые - отношения).

Вопрос 3. В психологических тестах нередко встречаются задачи на выделение отношений. Например, в пропорции "*бык/корова = баран/?*" правильным ответом будет "*овца*", так как пары состояются из самца и самки одного и того же вида.

а) Решите пропорции: "*птица/крыло = мышь/? = морж/? = кит/?* Попробуйте сформулировать соответствующее этому отношению понятие.

б) Решите пропорции: "*бычий цепень/человек = печёночный сосальщик/? = малярийный плазмодий/?*", сформулировав соответствующее этому отношению

¹ Интересно, что изучение систем родства у разных народов даёт антропологам веские основания для изучения логики мышления первобытных народов. Представление, кого следует считать или не считать кровным родственником, у разных народов сильно варьирует, а вот способ, которым люди аргументируют и делают выводы об этом, исходя из определённых посылок, оказывается, у всех людей одинаков.

понятие (для более детального знакомства с данным понятием см. вопрос 2 из главы 13).

в) Сформулируйте соответствующее понятие для пропорции "растение/фотосинтез = животное/дыхание".

Задача 1. Почему вопрос 3а) усложнится после замены "птица/крыло" на "летучая мышь/крыло"?

Задача 2. Можно ли решить пропорции: "мышь/задняя лапа = кит/? = латимерия/? = минога/?"? С чем связаны сложности?

Чем ещё отличается понятие от множества? Элементом множества их свойства присущи самим по себе, помимо отношений с другими членами того же множества. Например, образуя множество всех чисел, которые делятся на 5, мы отдельно убеждаемся, что 20 делится на 5 и что 45 делится на 5, а отношения между числами 20 и 45 можем и не рассматривать. (Подробнее вопрос о связи качественных и количественных признаков с отношениями с точки зрения математика обсуждается в главе 23.)

С понятиями дело обстоит сложнее. Непонятно, например, могли последние оставшиеся на Земле странствующие голуби рассматриваться как полноправные представители своего вида. Ведь с истреблением сверхкрупных и сверхплотных колоний, в которых происходило их размножение, они потеряли способность продолжать свой род, а когда осталась всего одна птица, у неё вообще не могло быть никаких отношений с особями своего вида. Это свойство – способность продолжать род (на самом деле – вид странствующих голубей) связано с отношением – скрещиваниями между птицами одного вида. Кстати, отношение "способность скрещиваться друг с другом" в свою очередь возможно потому, что у способных к этому птиц есть определённая гомология брачных ритуалов.

Даже если выделять виды, исходя не из скрещиваемости, а из морфологического сходства особей ("чистых" свойств), избавиться от отношений всё равно не удастся. Ведь в этом случае одну и ту же группу организмов следует выделить в новый вид или оставить в старом в зависимости от того, найдутся ли переходные формы с проме-

жуточными особенностями (существование «хиатуса» - разрыва¹), хотя в свойствах самой группы организмов от этого ничего не меняется.

Вот ещё один пример. Есть серьёзные основания полагать, что до плотного заселения человеком Суматры, Калимантана и близлежащих островов орангутаны жили стаями и были наземными животными и многоядными собирателями (наподобие современных шимпанзе). Теперь они одиночны и ведут древесный образ жизни, питаются в основном листьями. Свойства отдельного орангутана (если мы изучаем его по образцу, хранящемуся в музее) в принципе остались теми же, но изменились важные характеристики вида – образ жизни и питание.

Интересный случай связи между свойствами и отношениями – отношения кровного родства. Возьмём какую-нибудь родословную. Конечно, есть признаки, которые довольно часто достаются членам рода; например, в династии Габсбургов – крупный нос и отвислая нижняя губа, в роду герцогов Шрюсбери – срастание фаланг. Однако в роду, например в дворянском роду Толстых, были люди честные и подлые, умные и глупые (хотя почти всех Толстых отличала незаурядная физическая сила и жизнеспособность). И, как правило, нельзя указать ни одного свойства, которое было бы присуще всем членам рода без исключения, кроме самого родства. Однако у сына или дочери всегда можно найти несколько особенностей, общих с его родителями. Некоторые способы описать такую ситуацию с формально-математической точки зрения Вы можете найти в главе 23 (см. отношения сходства и отношения порядка).

Систему живых организмов часто рассматривают как отражение родственных связей между ними. Однако здесь, к сожалению, никто не оставил нам родословных того же качества, что у китайцев или евреев. Имеющиеся «деревья» скорее похожи на родословные некоторых дворянских родов, где многое присочинено ради утверждения той или иной идеи. О родственных отношениях организмов можно судить лишь по сохранившимся сходным признакам, причём прихо-

¹Точней, если этот разрыв не может быть заполнен под воздействием причин, способных привести к такому результату – гибридизация, изменения местообитаний с формообразовательным откликом на изменения среды, географическая дифференциация и пр. Ещё точнее, вид выделяется, если имеет устойчивый хиатус вне своей системы популяций, но не имеет завершённых или формирующихся хиатусов внутри себя.

дится применять специальные приёмы (о некоторых возможных приёмах мы поговорим в вопросе 4 из главы 4). Одна из сложностей заключается в том, что какие-то сходные признаки могут оказаться не унаследованными от общего предка, а приобретёнными независимо.

Зачем вообще восстанавливать родословные? В своё время древним евреям удалось по родословным записям уловить некоторые закономерности наследования гемофилии. Аналогично, правильно выделять род, вид, любую другую естественную биологическую систему необходимо, чтобы умом понять ту закономерность (например, определённую закономерность эволюции группы), которая недоступна прямому наблюдению и определяется скрытыми причинами. Также и в биологии: если мы умеем из всех отношений сходства выделить те, которые указывают на родство, разделять сходные, но неродственные формы и сближать несходные, но родственные друг другу, мы можем уловить наиболее интересные для нас закономерности преобразования биологической формы в процессе эволюции.

Например, это прогрессивная специализация разных «веточек» филогенетического дерева: она проявляется в интенсивном «ветвлении» и постепенном расхождении «ветвей» (дивергенции). Или это исключительная устойчивость признаков, определяющих его «ствол» (устойчивость филогенетического типа). Она определяет параллельное развитие тех «ветвей», в которых происходит повышение организации: разные признаки млекопитающих параллельно приобретались в одной и той же последовательности разными ветвями териодонтов, признаки птиц – разными ветвями зауропод.

Конкретный пример важности признаков, указывающих на родство: палеонтологи очень долго считали нелетающих ископаемых птиц – диатрим бегающими хищниками из-за мощных когтей и страшного крючковатого клюва. Тем более что тогда же существовали очень сходные внешне и безусловно хищные фороракосы, считавшиеся родственными диатримам. Однако оказалось, что диатримы родственны гусеобразным: у них в клюве были найдены цедильные пластинки, свойственные всей этой группе. Это позволило взглянуть по-другому интерпретировать «хищный облик» и морфологические адаптации диатрим: это оказались мирные растительноядные птицы, близкие к гусеобразным, с клювом, приспособленным для щипания листвы.

Со свойствами иметь дело проще, чем с отношениями, и тем более проще, чем иметь дело с системой, в которой эти отношения ра-

ботают и устойчиво поддерживаются. У логика возникает желание свести отношения к свойствам (например, понять, что данное животное – хищник, обычно можно лишь по его собственным особенностям, не исследуя отношений с другими животными). Но не всегда это удается.

Например, Кювье считал, что не существует копытных зверей (то есть травоядных с общим обликом лошади, коровы или носорога) с когтями, поскольку среди известных ему видов когти встречались только у хищников. Но вскоре палеонтологи описали халикотерия, реализующего именно это сочетание.

Глава 3. Объём и содержание понятия

Как видим, у понятия есть **объём** (множество, о котором мы говорили выше) и **содержание** (мысль, связывающая элементы множества). Отношения между ними просты.

Например, из содержания понятия не всегда можно непосредственно выяснить, удовлетворяют ли этому содержанию хоть какие-нибудь элементы. Так, до открытия Австралии было неизвестно, существуют ли виды, соответствующие понятию "*яйцекладущие млекопитающие*". Научная теория может создать *полезную фикцию* - понятие, которое имеет определённое содержание, на данный момент более чем полезное для научного анализа, но которому может ничего не соответствовать в реальности.

Таковыми полезными фикциями были понятия «эфир» и «флогистон». Недарвиновские модели биологической эволюции (блестящим защитником которых в нашей стране был известный биолог Александр Любищев) такой же фикцией считают понятие естественного отбора⁵.

Вопрос 1. Приведите один-два примера интересных для биологии понятий, относительно которых неясно (или раньше не было ясно), соответствует ли им какое-то непустое множество.

А вот пример того, что от объёма понятия тоже нельзя по готовым правилам перейти к определенному содержанию. Грызуны и зайцеобразные имеют немало сходных признаков. Раньше их рассматривали как близких родственников и объединяли в один отряд. Теперь их родство систематики считают куда более дальним, а многие черты сходства – результатом приобретения сходных морфологических адаптаций. Для некоторых биологов, вообще отрицавших родство этих грызунов и зайцеобразных, множеству "*грызуны и зайцеобразные*" вообще перестало соответствовать понятие систематики с каким-либо содержанием. Однако сейчас другие биологи вновь считают эти группы близкими, хотя не объединяют в один отряд и основывают своё заключение на других признаках – для них содержание у систематического понятия "*грызуны и зайцеобразные*" есть, но уже иное.

Но ученых интересует не только родство видов, но и например, сходство их экологических ниш (своеобразных «профессий» вида в сообществе или, как писали в XIX веке, «места, занимаемого видом в «экономике природы»). Не исключено, что при изучении образа жизни животных какой-то биолог захочет рассматривать эти две группы совместно. Но тогда у понятия "*грызуны и зайцеобразные*" будет совсем другое содержание, уже не относящееся к систематике!

Заметьте, что у множества есть только объём – два множества, содержащие одинаковые элементы, считаются совпадающими. В **алгебре множеств** этот принцип называется **законом тождества**, который записывается как $A=A$ (прописными буквами обозначаются множества). В главе 24 мы будем рассматривать закон тождества в логике, который связан с этим принципом, но более содержателен.

Именно наличие у понятия как объёма, так и содержания позволяет тем, кто им пользуется, непрерывно уточнять как то, так и другое. Обнаружив, что в состав объёма понятия должны быть включены (или исключены из него) какие-то новые объекты, мы должны пересмотреть своё определение понятия (его содержание). И наоборот, дав улучшенное определение понятия, мы должны пересмотреть и его объём. Неоднократное чередование этих действий и приводит к уточнению понятия. Одним из первых в явном виде применяет эту процедуру к понятию мужества платоновский Сократ в диалоге «Лакхет». Сначала оказывается, что мужество можно проявлять не только в открытом бою, но и отступая, потом – что оно возможно и в мирной жизни. Необходимость дать определение этого понятия приводит собеседников к тому, что мужество – это стойкость, но не любая, а лишь разумная. В то же время не всякая, даже разумная, стойкость, может быть названа мужеством – Сократ приводит примеры такой стойкости в тех случаях, когда она не сопряжена с опасностью. Сократовский диалог не заканчивается готовым определением мужества, однако сами применяемые им приёмы поныне весьма важны.

Такой «возвратно-поступательный» ход рассуждений часто используется, например, при выделении систематических групп, применительно к которым важен как их объём, так и содержание (гипотезы о значимых для классификации признаках и/или сценарии филогенеза). Или при выделении гомологичных внутри какой-то группы структур и органов. Палеонтолог А.С.Раутиан предложил для подобного приёма название итеративной процедуры. Подробнее о таком ходе рассуждений можно прочесть, например, в книге Г.Ю.Любарского «Архетип, стиль и ранг в биологической систематике». Более сложные случаи изменения объёма и содержания понятия будут рассмотрены в главе 23.

Любая наука использует даже не отдельные понятия, а множество свойственных ей понятий, связанных между собой. Они и применяются в ней для описания и объяснения. Логика же позволяет уточнить понятия, их объём и содержание. Свой взгляд на такое уточнение есть и у поэта:

*Люблю обычные слова,
Как неизведанные страны,
Они понятны лишь спереа,
Потом значенья их туманны.
Их протирают как стекло,
И в этом наше ремесло*

Давид Самойлов

Чем больше мы указываем свойств элементов, входящих в наше множество, тем меньше объём понятия. Например, объём понятия "хищные млекопитающие" меньше, чем объём понятия "млекопитающие" (хищных млекопитающих меньше, чем всех млекопитающих).

Логик укажет, что при уточнении свойств содержание понятия становится богаче (рассматриваемые виды – не только млекопитающие, а ещё и хищные или копытные). Несколько иначе смотрит на вещи зоолог. План строения млекопитающего позволяет животным осваивать разные среды (воду, воздух) и вести разный образ жизни. Копытные же, например, утратив ключицу, приобрели способность к быстрому бегу, но потеряли возможность передвигать передние конечности в разных плоскостях. Поэтому зоолог согласится с логиком лишь в том случае, если при ограничении старого понятия тот сохранит всё богатство его содержания.

Глава 4.

Отношения между объёмами разных понятий

Вспомнив еще одно математическое понятие, мы можем назвать множество хищных млекопитающих **подмножеством** множества млекопитающих:

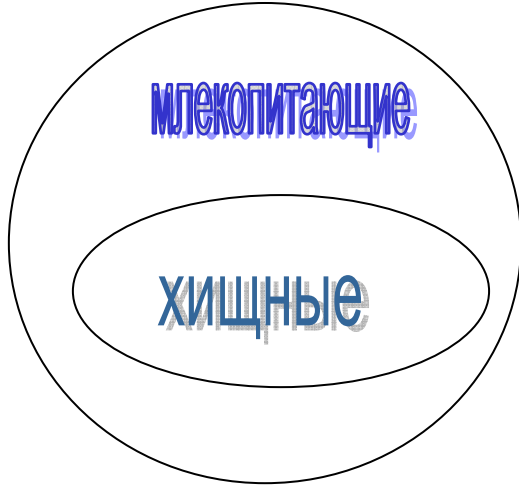
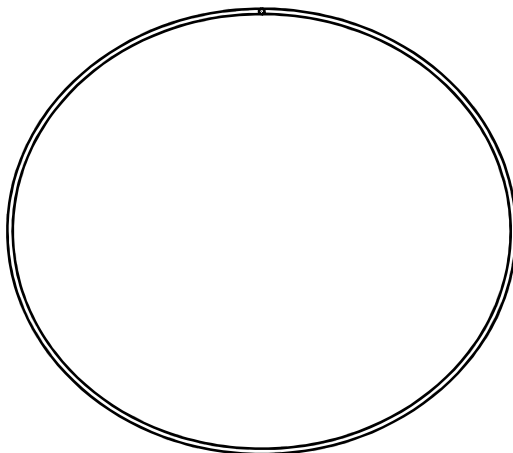


Рисунок 1

В данном случае отношение объёмов двух понятий прямо следует из их содержания. Но так бывает не всегда. Например, самостоятельно использовать азот воздуха способны только бактерии (включая цианобактерий - сине-зелёные водоросли), хотя и не все. Иными словами, множество организмов, способных к фиксации азота, – это подмножество множества бактерий. Почему так получается? Непонятно. Может быть, мы пока не догадались, как вывести эту особенность из свойств бактерий или, наоборот, вывести неспособность фиксировать азот из свойств более высокоорганизованных существ (эукариотов). Может быть, для такого вывода мы недостаточно знаем свойства бактерий и эукариотов. Может быть, эта ситуация сложилась случайно. А может быть, при дальнейшем изучении низших эукариотов у кого-нибудь из них

эту способность откроют (до сих пор все её "находки" у многоклеточных животных и растений оказывались ошибками). Вообще, выделив понятие по одним свойствам, мы обычно обнаруживаем, что с ними связаны многие другие; об этом мы поговорим в главах 11, 13 и при решении упражнения 2 из главы 11.

Как ещё могут соотноситься объёмы разных понятий? Они могут совпадать (**рис. 2**) или пересекаться (**рис. 3**):



нок 2

Рису-

○

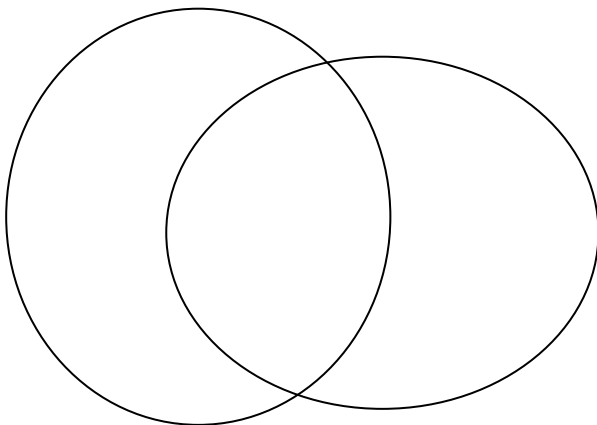


Рисунок 3

Упражнение 1. Подберите примеры отличающихся по содержанию понятий (не обязательно биологических), объёмы которых совпадают. С чем связано совпадение объёмов в каждом случае?

Вопрос 1. Приведите по два-три примера случаев, когда объёмы биологических понятий включены один в другой и когда они пересекаются.

Вопрос 2. Ещё Ч. Дарвин отмечал, что белые кошки с голубыми глазами глухи. Найдите в литературе причину этой закономерности.

Если объёмы биологических понятий не совпадают, не пересекаются и не включены один в другой, то говорят, что понятия **несовместимы**. Можно ошибочно решить, что для характеристики отношений между объёмами несовместимых понятий вполне достаточно того, что эти объёмы не имеют общих элементов. Однако из приведённых ниже примеров очевидно, что если два несо-

вместимых понятия принадлежат к одной **предметной области** (например, бобовые и злаки – семейства цветковых растений), то они могут быть связаны друг с другом двумя разными способами. В обоих случаях эти понятия оказываются включенными в объём третьего понятия (так, понятие "бобовые" и понятие "злаки" входят в объём понятия "цветковые растения"):

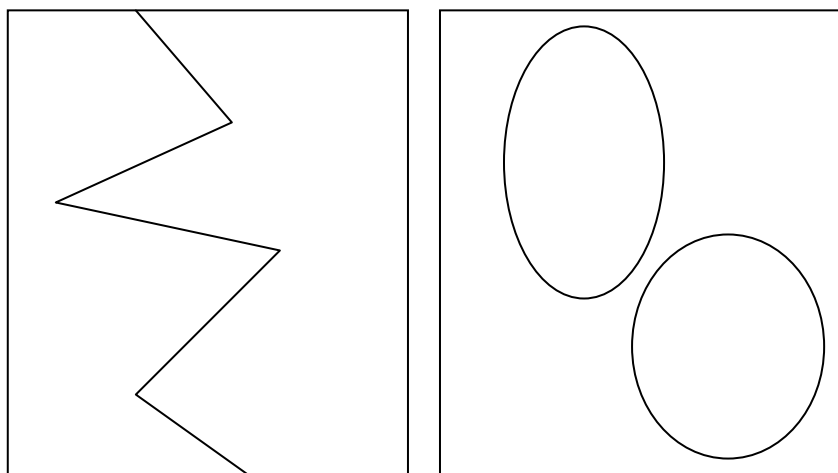


Рисунок 4

В первом случае понятия исключают друг друга по принципу или-или (находятся в отношении **противоречия**) – то есть элемент, не входящий во множество, которое соответствует одному понятию, обязательно входит в

множество, соответствующее другому¹. Например, все живые организмы или *способны к фотосинтезу*, или *неспособны к фотосинтезу*, третьего варианта быть не может. Взаимное исключение этих двух понятий следует из их содержания - нельзя одновременно быть способным к фотосинтезу и не быть способным к фотосинтезу.

А могут ли взаимно исключать друг друга понятия, из содержания которых такое взаимное исключение прямо не следует? Иначе говоря, может ли в этом случае оказаться, что любой элемент общего третьего понятия входит или в одно множество, или в другое? Попробуем придумать такой пример. В принципе можно поделить организмы на 1) *содержащие хлорофилл* и 2) *не способные к фотосинтезу*, и это деление будет почти совпадать с предыдущим. Однако совпадение неполное: есть бактерии, которые улавливают энергию света с помощью другого вещества – бактериородопсина (оно похоже на пигмент, содержащийся у нас в глазах).

Если мы хотим с уверенностью добиться взаимоисключения понятий и сразу видеть его логическое основание, то взаимоисключение желательно прямо вводить в содержание понятий².

Во-вторых, понятия могут исключать друг друга, но не по принципу или-или (находиться в отношении ***противоположности***). Например, цветки могут иметь радиальную симметрию или двустороннюю симметрию. (С точки зрения ботаника цветок не может иметь одновре-

¹ Из главы 13 вы узнаете, почему понятия, находящиеся в отношениях противоречия, наиболее удобны для определителей.

² Мы никогда не знаем, сколько ещё групп живых организмов осталось неизвестным или как будут перегруппированы уже существующие. Поэтому в реальности в отличие от абстракций логики невозможно всё разделить на взаимоисключающие исходы, поскольку наши знания постоянно уточняются и изменяются. Правила типа “исключённого третьего” - идеализация, позволяющая рационализировать процесс познания.

менно как радиальную, так и двухстороннюю симметрию - в этом случае он считается радиальносимметричным). Однако бывают ещё цветки неправильной формы; поэтому нельзя сказать, что если цветок не имеет радиальной симметрии, то он имеет двухстороннюю. Ещё один пример. Объёмы понятий “бобовые” и “злаки” входят в объём понятия “цветковые растения”. Но к цветковым относятся и другие семейства (например, розоцветные); поэтому нельзя сказать, что если цветковое растение не является бобовым, то оно злак.

Вопрос 3. Приведите другой пример биологических понятий, которые находятся в отношении противоположности. Объясните, почему в данном примере мы встречаемся именно с отношением противоположности, а не противоречия.

Упражнение 2. Древнегреческие софисты (учителя философской премудрости) любили огорошить собеседника вопросом: “Ты перестал бить своего отца? Отвечай прямо: “да” или “нет”?” В чём коварство этого приёма?

Задача 1. Найдите в литературе или дайте сами определения понятий “автотроф” и “гетеротроф”. Как соотносятся объёмы этих понятий, исходя из использованных определений?

Вопрос 4. Перед вами – родословная какой-то группы организмов:

Исходный признак a_0 при первом разветвлении у одной из групп-потомков заменился на признак a_1 . В одной ветви при следующем разветвлении признак b_0 заменился на b_1 , а в другой ветви – признак c_0 заменился на c_1 .

а) Изобразите на рисунке соотношение объёмов для членов группы, которые обладают признаком a_1 , чле-

нов группы, которые обладают признаком b_1 , и для членов группы, которые обладают признаком c_1 .

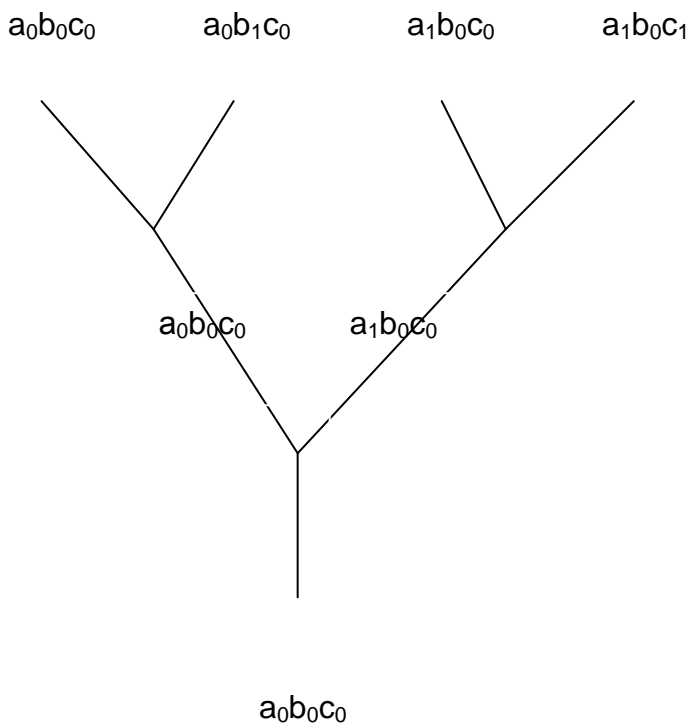


Рисунок 5 а)

б) В вопросе а) новые варианты признака не возникли в разных ветвях независимо. Восстанавливать родословную при этом довольно просто. Но возможны и иные ситуации:

Изобразите на рисунке соотношение объёмов для членов группы, которые обладают признаком a_1 и членов группы, которые обладают признаком b_1

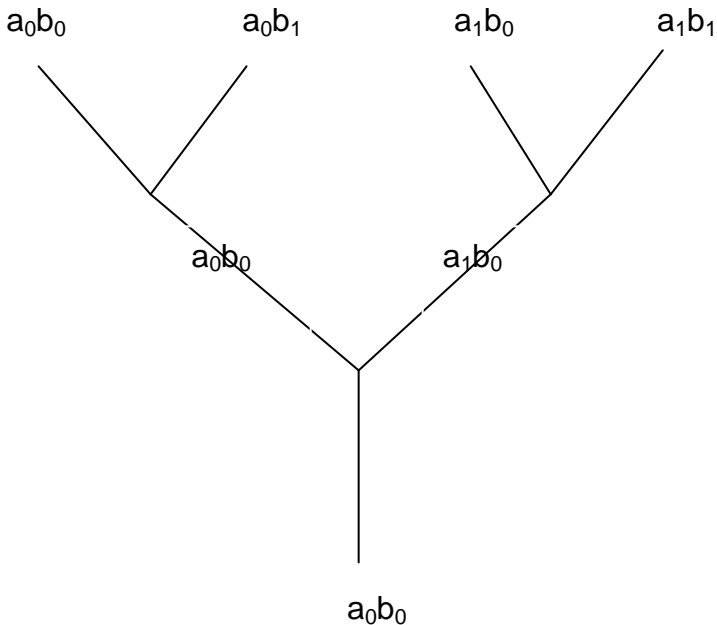


Рисунок 5 б)

в) С какими вариантами соотношения объёмов различных множеств мы сталкиваемся в случаях а) и б)?

Все разобранные в этой главе случаи соотношения объёмов различных множеств подробнее описывает *алгебра множеств*.

Глава 5. Причина и следствие. Случайность

Категории **причины** и **следствия** – одни из самых сложных в философии и науке. Причинно-следственные отношения – очень важный случай отношений вообще; как и другие отношения, они могут быть весьма разнообразны. Например, великий древнегреческий философ Аристотель, с которого и началась формальная логика как наука, счёл необходимым выделить целых четыре вида причин. Определения этих причин он дал, например, в книге “Физика”^{vi}. Попробуем выполнить тяжёлую работу - разобраться в ходе мыслей Аристотеля по цитате из этой книги”:

“В одном значении причиной называется то, “из чего”... возникает что-нибудь, например, медь – причина этой статуи или серебро – этой чаши... В другом значении причиной будут форма и образец – а это есть определение сути бытия... (например, для октавы отношение двух к единице и вообще число)... Далее, причиной называется то, откуда первое начало изменения или покоя; например, давший совет есть причина, для ребёнка причина – отец, и, вообще, производящее – причина производимого и изменяющего – изменяемого. Наконец, причина как цель, то есть “ради чего”; например, причина прогулки – здоровье. Почему он гуляет? Мы скажем: “чтобы быть здоровым” – и, сказав так, полагаем, что указали причину.”

Прокомментируем этот текст. В качестве первой, **материальной причины**, Аристотель указывает ту материю, из которой состоит вещь. С чем связан такой подход, странный для современного человека? Да с тем, что эта материя ведёт себя сообразно своей природе. Аристотель мог бы сказать, что медь статуи или браслета чернеет (как мы знаем, окисляясь), а затем зеленеет, (поглощая углекислый газ из воздуха); а свежесрубленное дерево лодка может дать побег, если в нём осталась скрытая почка. А поскольку материя ведёт себя сообразно своей природе, то для древних греков вопрос об этой природе, поиски первоэлементов любой материи, как правило, был тем же, что и поиски первоначал, первооснов бытия. Для одних философов первоэлементами были атомы и пустота, для других – земля, вода, огонь, воздух, эфир, но в любом случае указание первоэлементов позволяло ответить на вопрос, какова природа материи, и как материя всего сущего должна себя вести¹.

Вторая причина – **формальная**. Обретая форму (например, форму струны), материя начинает подчиняться определённым законам бытия (например, законам акустики). Почему определением для октавы названо отношение двух к единице? Именно струны такой относительной длины (и одинаковой толщины) будут звучать в унисон – одна на октаву выше, другая на октаву ниже²).

Говоря о третьей причине – **действующей**, Аристотель в этом отрывке не приводит самый, казалось бы, очевидный пример – толчок как причина движения. Из всех причин действующая – наиболее понятная; ведь в

¹ Само слово «материя» у греков изначально означало «строевой лес» - наиболее универсальный из привычных для них материалов. Так понятия обыденного языка, связанные с повседневной деятельностью, давали начало философским понятиям, и тот же Аристотель затратил значительные усилия на анализ точного смысла слов обыденного языка.

² Кстати, какая – выше и почему?

простейших случаях мы видим сам процесс действия. Например, мяч в месте удара прогибается, затем прогиб начинает выпрямляться, и мяч приходит в движение. Что касается приведенного в отрывке примера, то следует иметь в виду, что Аристотель не верил, будто в семени мужчины содержится уже готовый зародыш (хотя в античности и позднее такая точка зрения была распространена), и отца ему приходилось рассматривать именно как **действующую** причину ребёнка. Отсюда, видимо, следует, что представления Аристотеля о действующей причине были сходны с современными.

Четвёртую причину, **целевую**, Аристотель, похоже, понимал примерно так же, как и мы.

Хотя в представлениях Аристотеля много странного для современного человека, всё же его классификация причин (в уточнённом последователями варианте) – одна из наиболее полных и удачных.

Вопрос 1. Подберите биологические примеры для каждого вида причин Аристотеля. Какие из этих видов причин с Вашей точки зрения биологу следует учитывать в работе?

Вопрос 2. Как соотносятся причина и следствие в высказываниях, которые подчеркнуты в приведенных ниже примерах?

а) После добавления в пищу цианистого натрия мышь погибла. Цианистый натрий – причина её смерти.

б) Иван Иванович Халдеев съел килограмм соли и погиб. Поваренная соль – причина его смерти.”

в) Пётр Петрович Малдеев съел двадцать пятый блин, и его хватил удар. Двадцать пятый блин – причина его смерти.

Вопрос 3. Как соотносятся причина и следствие в в приведенном ниже примере? Согласны ли Вы с подчеркнутым высказыванием?

Аксолотль, прежде чем превратиться в амбистому, время от времени всплывает к поверхности и заглатывает пузырёк воздуха. Если воспрепятствовать всплыванию, натянув под водой сеточку, то лёгкие у аксолотля не развиваются. У лягушек в таких же условиях опыта лёгкие только слабо подразделяются, не образуя альвеол, а у жаб развиваются совершенно нормально. Развитие лёгких у жабы определяется наследственными причинами, а у лягушки и амбистомы – нет.

Вопрос 4. Как соотносятся причина и следствие в высказывании, которое подчеркнуто в приведенном ниже примере?

Больше всего транспортных аварий происходит в те дни, когда на улицах больше всего прохожих с зонтиками. Прохожие с зонтиками – причина аварий.

Вопрос 5. В Европе рождаемость выше в тех местностях, где выше плотность гнёзд белого аиста. Какая причинная связь может объяснять это явление?

Раз мы заговорили о причинах и следствиях, необходимо обсудить и понятие **случайности** как противоположность **причинности**. У Аристотеля и тут всё было очень чётко. Случайность – не беспричинность; *случайные события* имеют те же причины, что и прочие события, плюс ещё **причину по совпадению**. Например, я пошёл на рынок и встретил там приятеля, которого я встретить не ожидал. Мы оба имели свои причины (например, целевые) пойти на рынок, но наш приход совпал случайно.

Аристотелю в данном примере особенно интересовало то, что случайно произошла встреча, которая могла бы иметь целевую причину. Мы можем понять совпадение более широко и сказать, что такая случайность – результат пересечения не связанных между собой цепочек событий и причин. Одна цепочка привела на рынок меня (на-

пример, отец посоветовал купить там новую обувь), другая – приятеля (для здоровья он ходит прогуливаться, а путь его лежит как раз мимо рынка).

Однако с развитием физики возникло представление об ином типе случайности, который плохо совместим с традиционным представлением о *действующей причине* ("первое начало изменения или покоя"). Рассмотрим атом радиоактивного вещества. Вероятность того, что он распадётся за эту минуту или что он распадётся за минуту, которая наступит через сто лет (при условии, что этот атом будет тогда существовать) совершенно одинакова. Она не зависит и от того, образовался ли этот атом только что или миллиарды лет назад. Трудно представить себе, что для распада этого атома именно сейчас есть своя причина. Подобный тип случайности начал появляться в науке прежде всего с развитием квантовой механики. Далеко не всем, в том числе и физикам, такое понятие было по душе. Например, оно сильно не нравилось Эйнштейну, но и ему не удалось найти способ обходиться в физике без таких случайных событий. Но при всей странности таких случайностей ими вполне можно оперировать в науке и практике¹.

Интересно, что ситуация, плохо совместимая с представлением о действующей причине, рассматривалась философией ещё до того, как возникла в физике. И.Кант считал, что аналогичные затруднения вызывает понятие *воли* – непонятно, что заставляет человека принять определённое решение именно в данный момент. Конечно, прямая аналогия с атомным распадом вряд ли уместна – трудно вообразить себе атом, который с помощью свободной воли выбирает, распадаться ему сейчас или нет.

Спор физиков, а также проникновение случайности в химию, биологию, социологию, заставили учёных внимательнее отнестись к этому понятию. И оказалось, что понятие случайности по своему объёму – набор *нескольких* понятий с точки зрения формальной логики. Историк науки Ю.В. Чайковский выделяет несколько вариантов понятия случайности, используемых в естественных науках^{vii}. Перечислим эти варианты или типы случайности.

¹ Например, для многих целей полезно знать *период полураспада* радиоактивного вещества. Вспомните или выведите самостоятельно формулу, позволяющую перейти от вероятности распада отдельного атома за определённое время к периоду полураспада вещества - то есть времени, за которое распадётся половина атомов данного вещества. В каких областях биологии и для чего используют представление о периоде полураспада?

Случайность как непонятая закономерность. Для человека, который не помнит числа π , последовательность 3;1;4;1;5;9... будет выглядеть как абсолютно случайная, причём в ней действительно нельзя найти никакой закономерности (более частой встречаемости каких-то цифр, наличия регулярно повторяющихся участков и т. п.).

Упражнение 1. На одном из турниров предлагалась следующая задача. Пробирка с подсиненной водой при взгляде сквозь неё переворачивала написанные красными буквами слова "лещ" и "метла" и оставляла в прежнем виде написанные синими буквами слова "хек" и "совок". В чём причина этого странного явления?

Случайность как неустойчивость движения. У математиков есть замечательное выражение "*неустойчивость к малым шевелениям*". Почему для азартных игр используются монеты и игральные кости? Потому что их невозможно, не мошенничая, вновь бросить в точности так же, как в прошлый раз, а из-за самых небольших различий монета или кость падают другой стороной. Хотя падение вполне описывается уравнениями механики, но к важным отличиям результата приводят столь незначительные отличия исходных параметров, что их нельзя ни обнаружить, ни проконтролировать.

Случайность как относительность знания. Выбор одной точки зрения на предмет мешает нам познать его в ином отношении. Эйнштейн и эту случайность хотел, но не смог устранить из квантовой механики. С точки зрения квантовой механики мы можем с достаточной точностью определить либо координаты частицы, либо её импульс. Иными словами, если мы планируем опыт в результате которого будет определён импульс частицы, она будет вести себя в этом опыте таким образом, как будто её можно *случайно* встретить (с определённой вероятностью) в разных точках довольно большого объёма пространства. Если в опыте планируется зафиксировать положение частицы, то неопределённым окажется её импульс.

Чем-то сходное явление – «эффект Кассандры»¹. Мы можем проверить правильность прогноза только в том случае, если он не станет известен основным действующим лицам, на поведение которых повлияет. Таким образом, мы можем либо убедиться в правильности прогноза, либо использовать его в своих действиях (поскольку и наше собственное поведение зависит от знания прогноза). Ещё один сходный феномен – в тех науках, где нет единого критерия оценки качества работы, и его приходится оценивать главным обра-

¹ Название не вполне точное – прогнозам Кассандры как раз не верили, отчего они, собственно, и осуществились без препятствий.

зом по частоте цитирования, в некоторых случаях больше преуспевают учёные с фамилиями, начинающимися с первых букв алфавита. Оказывается, это происходит тогда, когда учитываются лишь первые авторы публикации. Иначе говоря, процедура, призванная оценить успешность научного работника, сама влияет на эту успешность.

Ещё об одном типе случайности речь пойдёт в главе 11 - это *случайность как уникальность, неповторимость*. Там, где мы имеем дело с уникальным явлением, затруднительно отделить его закономерные черты, имеющие причины «общего значения» от случайных, имеющих и причины уникальные и неповторимые. Затруднительно, например, обсуждать, по каким признакам можно опознать жизнь в космосе, если нам известна только земная жизнь. В главе 11 будет рассказано, почему авторы не уверены, что этот вариант следует включать в соответствующий перечень.

В каком-либо явлении можно увидеть сразу несколько типов случайности. К тому же явление может рассматриваться и как случайное, и как неслучайное даже с позиций одной науки. Например, последовательность из пятнадцати выпадений орла при бросании монеты с точки зрения классической теории вероятностей (развитой Паскалем и Бернулли) столь же случайна, как и все прочие. Встречается редко она лишь потому, что возможны множество вариантов, при которых монета падает восемь раз орлом и семь раз решкой (или шесть раз орлом и девять – решкой), и всего-навсего один вариант, при котором монета всё время падает орлом. С позиций Колмогорова эта последовательность неслучайна (как и некоторые другие) – её можно описать коротким правилом, не указывая отдельно, как выпала монетка при третьем и седьмом броске.

Упражнение 2. Вам необходимо выяснить, какой из двух вариантов агротехники лучше применять в вашей области для выращивания определённой культуры. На селекционной станции вам выделили двадцать участков земли, равных по площади, но во всех остальных отношениях плохо сравнимых друг с другом. Известно только, что разнообразие условий на этих участках примерно такое же, как и по всей области. Опишите подробно, что вы будете делать.

Примечание: если участки просто поделить пополам, то, поскольку условия **внутри** каждого участка также неоднородны, встанет вопрос о том, как распределять между разными вариантами агротехнической обработки половины.

Задача 1. Что означает для генетика: а) "*гаметы сливаются при скрещивании случайным образом*"; б) "*скрещивания в популяции происходят случайно*"; в) "*мутации возникают случайно*"? С какими типами случайности мы здесь сталкиваемся?

Задача 2. Какие ещё разделы биологии имеют дело со случайностью? Какие это типы случайности?

Глава 6. Высказывания

От понятий перейдём к высказываниям. **Высказывание (суждение)** – это утверждение, в котором понятия связаны таким образом, что содержание высказывания независимо от ситуации можно оценить как истинное или ложное.

Упражнение 1. Казалось бы, любое утверждение можно оценить как истинное или ложное. Однако это не так. Приведите примеры исключений.

Различают **простые** и **сложные высказывания**.

Высказывания, не содержащие частей, которые тоже являлись бы высказываниями, называются **простыми**.

Обычно в простом высказывании можно выделить **субъект** (иногда обозначается как S) и **предикат** (иногда обозначается как P). Разные математики, логики и лингвисты расходятся в определениях субъекта и предиката, поэтому дадим определения, наиболее логично вытекающие из хода нашего изложения. Итак, **субъект** высказывания – это отдельный **элемент** (элементы) или целое **множество** (множества), которым, как правило, соответствуют определённые понятия. **Предикат** высказывания – то **свойство**, которое приписывается в высказывании соответствующему субъекту (или отрицается у него), или то **отношение**, которое, как утверждается в

высказывании, связывает соответствующие субъекты (или отрицается для них). Рассмотрим несколько простых высказываний и выделим в них субъекты (красным) и предикаты (синим):

«Некоторые личинки насекомых обитают в водоёмах».

«Некоторые цветковые растения опыляются определёнными видами летучих мышей».

«Сумчатые Австралии чрезвычайно разнообразны».

«Крыло птиц и передняя конечность млекопитающих гомологичны».

«Петр Первый был высокого роста»

«Останкинская башня выше двухсот метров».

Содержание понятий, соответствующих субъекту и предикату, связано.

Обычно считается, что объект или явление, выраженные субъектом, нам уже известны, и, высказывая суждение, мы добавляем к представлению о субъекте его новое, ранее неизвестное, свойство или отношение. Однако обратите внимание (см. главу 14): когда мы даём **определение**, субъект исходно неизвестен.

Кроме того, интересно рассмотреть суждения типа “Человек – разумен”, “Двукрылые имеют полное превращение”. Нелегко было бы объяснить, что такое разум, не приводя в качестве примера человека. Да и при объяснении того, что такое полное превращение, не обойтись без примеров из мира насекомых. Наиболее очевидна связь содержания субъекта и предиката, если мы не можем избавиться от **логического круга** – ситуации, когда каждое из двух понятий можно определить только с использованием другого понятия (см. главу 15).

В нашей речи одним и тем же словом может выражаться разный предикат в зависимости от того, о каком субъекте мы говорим. (Например, проворная черепаха и проворный пудель обладают разным проворством.) Это может затруднить применение законов формальной логики (см. вопрос 3 к главе 10).

Сложные высказывания можно разделить на части-высказывания, связанные между собой связками (“и”, “или”, “или.., или”, “если...то”, “если и только если... то” и т.д.). Примеры сложных высказываний (соответствующие простые высказывания подчеркнуты):

«Птицы и самолёты способны к полёту».(Это высказывание можно рассматривать как сокращённый вариант высказывания «Птицы способны к полёту и самолёты способны к полёту».)

«Я прочту учебник логики или постараюсь самостоятельно научиться рассуждать логически». («Я прочту учебник логики или я постараюсь самостоятельно научиться рассуждать логически».)

«Если дважды два - пять, то автор пособия - король Дании».

Рассмотрим теперь, как определяют истинность сложных высказываний формальная и математическая логика.

Если части простого высказывания связаны связкой и, то оно истинно в том и только том случае, когда верны все составляющие его простые высказывания.¹

¹ В математической логике для такого “и” существует специальный символ - &.

Если части простого высказывания связаны связкой *или*, то оно истинно в том и только том случае, когда верно хотя бы одно входящее в него простое высказывание. Возьмём такой текст: «Клетки, между которыми может передаваться нервный импульс, имеют синаптический контакт **или** между ними существует прямая электрохимическая связь через щелевой контакт». Наличие любого из этих контактов означает возможность передачи нервного импульса.

Обратим Ваше внимание: в математической и формальной логике слово **“или”** понимается таким образом, что возможен вариант, когда верно и первое высказывание, и второе. Иначе говоря, из двух высказываний, соединённых “или”, может быть верно как одно (любое), так и оба¹.

Отрицание в высказывании может относиться к субъекту, например, когда множество задаётся посредством отношения противоречия («**Неспящий человек** может находиться в изменённом состоянии сознания»). Отрицание может относиться и к предикату, когда отрицается наличие некоторого свойства или отношения («Яйца амфибий **не имеют амниона**»).

Однако возможен также случай, когда отрицание относится **ко всему предложению в целом**, причём отнюдь не всегда его можно заменить отрицанием при субъекте или предикате. Высказывание «Неверно, что некоторые птицы неспособны к полёту» подразумевает ошибочность тезиса «Некоторые птицы неспособны к полёту». Этот тезис ошибочен в том случае, если к полёту способны все птицы (а никак, например, не в том случае, если **некоторые** птицы способны к полёту). Известно, что

¹ Для такого “или” используется специальный символ математической логики - \vee .

существуют, например, пингвины и страусы. Поэтому высказывание «Неверно, что некоторые птицы неспособны к полёту» ложно. Подобные высказывания с отрицанием, естественно, являются сложными, а установление их истинности требует совершения дополнительной логической операции.

С истинностью сложных высказываний, содержащих упомянутые выше связки, а также отрицание, помогает разобраться *алгебра высказываний*. В главе 7 приведена одна из формул алгебры высказываний, которая позволяет свести отношение «если..., то» между высказываниями к отношениям «или» и «неверно, что»¹.

Кроме сложных высказываний со связками и отрицанием существуют так называемые *модальные* высказывания. Не следует путать их с любыми высказываниями, содержащими модальные глаголы. «Я хочу спать» - для логика простое высказывание, хотя в нём и участвует модальный глагол «хотеть». Модальные высказывания выражают оценку определённого высказывания или отношений между высказываниями. Это может быть оценка с точки зрения логической причинности («логически необходимо», «логически возможно», «есть логическое следствие»), с точки зрения физической причинности («физически необходимо», «физически возможно», «есть физическое следствие»), с точки зрения знаний («доказуемо», «опровержимо»), с точки зрения убеждений («убеждён», «допускает»), с точки зрения вероятности («вероятно», «маловероятно»), с нормативной точки зрения («обязательно», «разрешено»), с собственно оценоч-

¹ Последнее соответствует сложному высказыванию с отрицанием. Используется, например, в высказывании: «Неверно, что все микроорганизмы – бактерии.»

Для такого «неверно, что» тоже существует специальный символ - ~.

ной точки зрения («хорошо», «плохо»), с временной точки зрения («было», «есть», «будет»). Ниже приведены примеры таких высказываний. Подчёркнуты высказывания, оценка которых даётся, или высказывания, оценка отношений между которыми даётся.

“Очень вероятно, что археоптерикс не был способен к длительному машущему полёту вверх.”

“Я уверен, что все примеры азотфиксации у высших животных и растений были ошибкой эксперимента.”

“Совсем не случайно взгляды исследователя на ход эволюции зависят от его представлений о причинах эволюции.”

“Логически необходимо, что если дважды два - пять, то автор пособия - король Дании.”

Высказываниями с модальностью занимался ещё Аристотель, но и до сих пор это очень сложная тема. Однако и для разных видов модальностей предлагались те или иные формализации. Понятно, например, что если А – хорошо («Хорошо, что наука развивается»), то отрицание А – плохо («Плохо, что наука не развивается»). Безразличное можно определить как то, что не является ни хорошим, ни плохим. Аналогичным образом можно определить отношения между модальностями «обязательно», «запрещено» и «разрешено». Менее очевидно, хорошим или плохим является «А и В», если А – хорошее, а В – плохое («Хорошо, что я помог другу», «Плохо, что я подсказывал на экзамене»). Если такое сочетание признать «хорошим» или «обязательным», то понятно, что нормативность, из которой мы исходим, плохо сочетается, например, с традиционными юридическими нормами^{viii}.

Глава 7.

Логическое следование высказываний

Отношения **логического следования** между высказываниями (в отличие, например, от отношений следования между теориями) довольно просты. Допустим, я говорю: «*Со вторника следующей недели я весь месяц буду в Москве*». После этого я в полном праве сказать: «**Следовательно, в четверг следующей недели я точно в Москве буду**».

Обратное, вообще говоря, неверно. Даже впоследствии выяснится, что в четверг, который имелся в виду, я оказался в Москве, то это ещё не означает, что я не соврал в своём первом высказывании (что его содержание истинно). Я мог приехать в Москву только в среду указанной недели. Я мог через четыре дня после приезда уехать из Москвы на выходные.

Но предположим, что в имевшийся в виду четверг я в Москве отсутствовал (то есть, что следствие из моего первого высказывания ложно). Тогда моё первое высказывание (о том, что со вторника я буду в Москве), определённо было ложным.

Итак, из истинного высказывания может следовать только истинное высказывание (если мы правильно сделали вывод). Из ложного высказывания может следовать как ложное, так и истинное высказывание. Ложное высказывание может следовать только из ложного. Истинное высказывание может следовать как из истинного, так и из ложного. Уф!

В алгебре высказываний это записывается так:

$A \Rightarrow B \equiv \sim A \vee B$. Буквы A и B обозначают здесь *высказывания*, \Rightarrow - знак следования, \equiv - знак тождества (эквивалентности). Читается это так: «*из A следует B* » тождественно тому, что «*неверно A или верно B* »¹.

¹ $A \Rightarrow B$ и $\sim A \vee B$ – тоже высказывания. Их тождество означает, что из первого из них следует второе, а из второго – первое. Таким образом, либо оба

Иначе говоря, если высказывание *B* следует из высказывания *A*, то это означает, что верно *B или* неверно *A*.

Упражнение 1.

Авторы Тау-Китянской грамматики утверждают, что если слово в тау-китянском языке обозначает орудие труда, то оно является четырёхбуквенным. На что следует обратить внимание, чтобы проверить это утверждение:

а) в русско-тау-китянском словаре – на слова, обозначающие орудия труда или на все остальные;

б) в тау-китянско-русском словаре – на четырёхбуквенные слова или на все остальные?

По содержанию логическое следование гораздо беднее общего представления о причине и следствии. Но тем не менее это важнейший инструмент науки. Ведь гипотезы, которые мы хотим проверить, не возникают просто так, из воздуха. Они связаны с теориями, которые нам интересны, с общей картиной мира, которая есть у нас в голове. Связь идей – *логическая*, она подобна следованию высказываний. Поэтому, если логические выводы из нашей теории не соответствуют фактам, то она ошибочна. Если же теория не объясняет каких-то явлений, на объяснение которых претендует, то и это выглядит подозрительно.

Однако нельзя сразу научиться выводить все возможные следствия из нашей теории. А когда нам удастся вывести очередное следствие, может оказаться, что несоответствие было лишь кажущимся. Например, из представления об эволюции живых существ, казалось бы, должно следовать наличие (и, более того, обилие) пере-

этих высказывания одновременно истинны, либо оба этих высказывания одновременно ложны

ходных форм между видами. На самом деле такие формы наблюдаются достаточно редко, их приходится долго разыскивать и специально доказывать их «переходность» (например, оспаривать утверждение, что археоптерикс или неопилина – это специализированные ветви, а не «настоящие» предковые формы).

Противоречие? Однако в работе Дарвина было показано¹, что переходные формы между видами и, тем более, между таксонами более высокого ранга (от рода и выше), как правило, должны очень быстро вымирать^{ix}.

Другой способ устранения противоречия даёт **теория прерывистого равновесия** (*punctuated equilibrium*), предложенная палеонтологами Стефеном Джемсом Гульдом и Нильсом Эддриджем («**пунктуализм**»)^x. Здесь редкость переходных форм и трудность распознавания истинных «переходов» объясняется краткостью и скоротечностью периода трансформации одного вида в другой, по сравнению с длительным периодом неизменности вида (стазис). Впервые это было описано Н.Эддриджем у трилобитов *Phacops rana* и оказалось всеобщим правилом: «скачки» в периоде от одного вида к другому сохранялись даже тогда, когда были уже невозможны ссылки на «неполноту» палеонтологической летописи. Последовательность слоёв была полной, обилие организмов в соответствующих слоях – достаточным не только для описания вида, но для количественного (статистического) анализа динамики популяций во времени, и тем не менее чередование длительных периодов стазиса видов и коротких периодов преобразования одного вида в другой во времени сохранялось по-прежнему строго.

Так, было, например, в филогенетических линиях разных видов моллюсков, реконструированных по чет-

¹ С точки зрения его теории эволюции.

вертикальным отложениям оз.Танганьика и других африканских озёр, и во многом развивавшихся параллельно; в каждой линии чередовались периоды стазиса и быстрых изменений в связи с превращением одного вида в другой (во многом совпадавшими с регрессиями озера). С точки зрения пунктуализма, прогрессивная эволюция и филетическая эволюция вообще — это не столько упорное карабканье вверх (вперёд), сколько ряд дискретных шагов от одного стабильного плато к другому (Ричард Докинз^{xi}).

Какое объяснение редкости переходных форм – Дарвина или Гулда – «лучше» в том смысле, что ближе к истине? Это решается не логическими выкладками, а эмпирическими исследованиями в природе. С нашей точки зрения, гулдовское объяснение продуктивней в том смысле, что больше служит прогрессу науки. Во-первых, оно полней объясняет всю совокупность имеющихся фактов (например, то, что вымирают преимущественно узкоспециализированные, «тупиковые» формы, а отнюдь не переходные). Во-вторых, ответив на поставленный вопрос, оно очень удачно ставит новые.

Например, из высокой устойчивости вида в период стазиса следует, что существует специфический механизм поддержания целостности вида как системы популяций, взаимодействующих в пространстве-времени видового ареала (это так называемый «вавилонский вид»), благодаря которым изменения морфологии и физиологии отдельных особей оказываются координированными и сонаправленными, по крайней мере, в масштабах геологического времени. Видообразование в этой системе взглядов требует преодоления целостности вида и поэтому всегда связано с частичным разрушением этой устойчивости – настолько, чтобы вызвать отделение новой формы, но не настолько, чтобы вымерла старая.

Подобный подход помогает разрешить ещё одно противоречие дарвиновской теории: здесь и сейчас должна наблюдаться масса случаев “происхождения видов”, а их практически нет. Устранить это противоречие пытались, введя понятие когерентной эволюции, при которой в сформированных биоценозах сама структура сообщества такова, что будет тормозить видообразование и вообще эволюцию. Сейчас выяснилось, что никакой биоценоз не сформирован настолько, чтобы стать целостной системой в той же степени, что и организм, или популяция, и в силу этого смог бы затормозить эволюцию до когерентности. Целостность системы связана со способностью к са-

морегуляции, к эффективному управлению системы своими элементами (видами, особями) и частями – меронами от греч. мерос – часть (для экосистемы это, например, разнотипные парцеллы растительности, образующие характерный «узор» пространственной неоднородности местообитания). Регуляция, естественно, направляется на сохранение тождественности такой системы самой себе в изменчивой и нестабильной среде и, следовательно, не может не тормозить эволюцию.

По счастью, подобное невозможно в силу того, что каждый отдельный вид имеет собственную эволюционную судьбу, заданную его планом строения и набором адаптаций. Сообщества и экосистемы – только комбинации таких видов, иногда устойчивые, но всегда временные: они «взрываются» независимой эволюцией разных таксономических групп, входящих в состав сообщества.

Все сообщества, включая устойчивые климаксные, представляют собой мозаику пятен тех или иных нарушений основного сообщества (вытапывания, пожара), находящихся на разных стадиях восстановления (например, зарастания). Эта мозаика определённым образом организована во времени и в пространстве (тип пространственно-временной организации такой мозаики характеризует сообщество лучше всего). Более того, вне таких нарушений невозможно само воспроизводство популяций видов-эдификаторов (в лесах умеренной зоны это деревья, в других – ещё и разные виды животных, например, крупные копытные и хоботные в европейских степях и саваннах Африки)^{xii}.

С другой стороны, массовое разрушение «естественных» биоценозов человеком отнюдь не повысило скорость видообразования, хотя согласно модели когерентной эволюции темпы видообразования в «осколках» малонарушенных сообществ или в их антропогенно трансформированных вариантах должна бы возрасти на 1-2 порядка. Но этого не происходит вовсе. Темп видообразования, судя по всему, в каждый данный момент времени более или менее постоянен для каждой самостоятельно эволюционирующей крупной группы (ранга семейства-отряда), и не меняется в связи с быстрыми изменениями экологической обстановки (даже если они принимают масштаб экологического кризиса). Изменения средней для данной филогенетической линии скорости видообразования происходят в основном по ходу истории группы. Эта скорость невысока в период интенсивного выделения подгрупп (типогенез), затем поднимается до максимума и довольно долго удерживается на этом уровне (типостаз), а затем постепенно падает (типоплиз).

Следует учесть, что в XIX веке и в первой половине XX-го не-полноту палеонтологической летописи сильно переоценивали. Сей-час, когда большинство «пробелов» на уровне крупных таксонов в той или иной степени ликвидировано, оказалось, что переходные формы скорей трудно диагностируются, чем редко встречаются^{xiii}.

Несоответствие между каким-то случаем и теорией может быть связано и с тем, что мы не учли малозамет-ную, но важную особенность, которая отличает этот слу-чай от других, хорошо объясняемых теорией. Хотя фор-мальные законы Менделя не выполняются для пчёл или растения ястребинки, а также для организмов с преобла-данием гаплоидной стадии, но общие менделевские принципы справедливы и в этих случаях. Но чтобы в этом убедиться, следует знать особенности размножения дан-ных организмов. Таким образом, иногда несоответствие теории и фактов преодолевается путем введения в тео-рию дополнений, не противоречащих ее основным прин-ципам.

Вопрос 1. Разберите на выбор

- а) вышеупомянутые рассуждения Дарвина,
- б) особенности размножения пчёл и ястребинки и применение к ним принципов менделевской генетики,
- в) какие-либо Ваши собственные примеры случаев, когда учёным казалось, что научная теория чего-то не объясняет, а потом объяснение, *вполне согласую-щаяся с этой теорией*, было найдено.

Если вывод из теории оказался верным, то ситуация куда приятнее – не надо что-то пересматривать, искать ошибки. Но не следует терять бдительности! Ведь истин-ное заключение может следовать и из ложного высказы-вания. Нет ничего удивительного в том, что ложная тео-рия объясняет некоторые факты (например, если счита-ть, что в семени мужчины в готовом виде содержится очень маленький зародыш, то это объясняет, откуда бе-

рётся ребёнок). В конце концов, для объяснения фактов теории и придумывают. Но разумно ожидать, что рано или поздно накопится слишком много фактов, с которыми ложная теория не согласуется или не может их объяснить, а также неоднократно проверенных теорий, которым наша теория противоречит. Поэтому самое худшее – когда из теории вообще нельзя придумать следствия, которые можно было бы опровергнуть. Ведь такая теория заранее выводит себя из-под проверки.

Вопрос 2. Опишите ситуации, в которых оказались бы опровергнутыми следующие утверждения.

1. “Билет на электричку от Москвы до Рязани стоит 19 000 рублей¹.”
2. “90% всей энергии, потребляемой человеком при 12⁰С, идёт на поддержание постоянной температуры тела”.
3. “Инфузория туфелька является возбудителем гриппа”.
4. “Мухомор – ядовитый гриб”.

Вот интересный пример непроверяемых утверждений. Большинство современных физиков считают, что история нашей Вселенной началась с её расширения из точки, в которой была сосредоточена вся материя в бесконечно плотном и бесконечно горячем состоянии (так называемая теория Большого взрыва). При этом физики избегают предположений о том, что было до Большого взрыва. Почему? Дело в том, что в этой точке свойства пространства и времени таковы, что ни одна современная теория не может их описать. Поэтому что бы не происходило **до** Большого взрыва, непонятно, как эти события могли сказаться на том, что произошло **после** него, и как проверить любое предположение о событиях до Большого взрыва (вопрос о том, что означает “до” при столь необычном поведении времени мы оставляем на совести физиков). Впрочем, в последнее время ряд физиков пы-

¹ Это было написано в 1997 году, сейчас билет до Рязани значительно дороже (хотя и стоит меньшее количество рублей).

тался «превратить» момент Большого взрыва в сопоставимый со всеми прочими^{xiv}.

Следует обдумывать следствия не только из своей теории, но и из теорий научных противников. Ведь может статься, что многие следствия у вас совпадают, и кто прав – остаётся непонятным. Как мы уже видели, некоторые биологи, основываясь на своих представлениях об эволюции, тоже объясняли отсутствие переходных форм, но не так, как Дарвин. Кроме того, если для объяснения конкретного случая можно выдвинуть несколько гипотез, не противоречащих вашей картине мира и здравому смыслу, то лучше, если все они будут придуманы вами, а не кем-то из оппонентов. Одна из подобных ситуаций – уголовное расследование. Приведём по этому поводу цитату отнюдь не из учебника по логике, а из исторического детектива.

– Так что же, – осмелился я спросить, – вы ещё далеки от решения?

– Я очень близок к решению, – ответил Вильгельм. – Только не знаю, к которому.

– Значит, при решении вопросов вы не приходите к единственному верному ответу?

– Адсон, – сказал Вильгельм, – если бы я к нему приходил, я давно бы уже преподавал богословие в Париже.

– В Париже всегда находят правильный ответ?

– Никогда, – сказал Вильгельм. – Но крепко держатся за свои ошибки.

– А вы, – настаивал я с юношеским упрямством, – разве не совершаете ошибок?

– Сплошь и рядом, – отвечал он. – Однако стараюсь, чтоб их было сразу несколько, иначе становишься рабом одной-единственной.

(Умберто Эко, "Имя розы".)

Умберто Эко подчёркивает необходимость *плюрализма рабочих гипотез* и *критичности в отборе* действительно подходящих объяснений. Трудность работы исследователя - в том, что рационализм и скептицизм относительно собственных предположений должны сопрягаться с развитым воображением, даже фантазией. Она позволяет исследовать действия, причины которых непосредственно не воспринимаются и должны быть домыслены, или предсказывать ещё не случившиеся события причины для которых, однако, уже существуют.

Человеку обычному очень трудно в себе сочетать рационализм, критицизм и скептицизм с богатым и плодотворным воображением: одно почти всегда развивается в ущерб другому. Исследователю же требуется устойчивое сопряжение обоих душевных качеств. Собственно, становление профессионального учёного можно описать как установление и дальнейшее совершенствование таких корреляций, маловероятных для обычного человека. Это аналогично любому процессу эволюционной специализации какого-либо вида и какого-либо органа (морфоструктуры).

Углубление теории, уточнение её понятий может вести к появлению новых противоречий, а их разрешение – в свою очередь вести к новому уточнению понятий.

Вот пример с “языком” пчёл. Пока речь шла лишь о том, что с помощью «языка танцев» пчёлы умеют наводить неопытных сборщиц на богатые нектаром цветки, всё было нормально – можно показать, что этот факт постоянно наблюдается в определённых ситуациях. А вот затем встал вопрос, осуществляется это с помощью обмена сообщениями знаковой природы, иначе говоря, есть ли у пчёл своего рода “язык”. Появилась необходимость в системе понятий, позволяющих отделить воздействие знаков, передающих информацию, от других типов воздействия (например, прямо заставляющих совершать определённые действия). Например, во многих случаях эффективность действия «танца» невелика, но, несмотря на это, мобилизация пчёл на вылет за взятком происходит под действием запахового следа и других ненаправленных популяционных сигналов. Итак, в исследовании «языка танцев» у пчёл потребовалось проверить, действительно ли он производит дистанционное наведение сборщиц по-

средством передачи информации о местонахождении источника нектара? Или только производит общую мобилизацию, повышает готовность отвлечься от работ внутри улья и лететь за взятком, но сам выбор кормовых объектов происходит по каким-то иным правилам, не зависящих от информации, переданной в «танце». Это потребовало изменить всю логику рассмотрения поведения, поставив в центр внимания выбор действий в проблемной ситуации.

Выяснилось, например, что вторжение запаховых стимулов в зону коммуникации или просто влияние ветра нейтрализует или серьёзно нарушает наводящее воздействие «танца». В то же время, танец «пчелы-робота» явно обладал наводящим действием^{xv}. Таким образом, хотя в природе пчёлы не всегда находят цветы именно под воздействием танца, и не все пчёлы, взаимодействовавшие с «танцовщицей», отправляются по указанному адресу, «язык танцев» можно рассматривать как систему знаков, передающую информацию¹.

Глава 8.

Категорические высказывания, их следствия и отрицания

Мы выяснили, почему важно уметь выводить следствия из разных высказываний и знать, как выглядят отрицания этих высказываний. Научимся делать это для очень важного вида суждений (высказываний) – **категорических высказываний**. *Категорическое высказывание выражает свойство всех или некоторых элементов какого-либо множества*. Примеры категорических высказываний: "Все птицы – теплокровные животные", "Некоторые теплокровные животные – птицы".

Категорическое высказывание называется так в порядке противопоставления высказываниям **условным** («**Если** этот выпускник закончил гуманитарный факультет, **то** он изучал логику») и **разделительным** («Палео-

¹ Собственно, понятие информации как раз и предполагает свободу выбора в том, как ей пользоваться.

нтологи имеют биологическое **или** геологическое образование»). Однако к категорическим высказываниям имеют отношение и определённые **категории**. **Категории** – это наиболее общие представления, в которых осуществляется познание. Например, к категориям относятся причина и следствие – обойтись без них в какой-либо науке невозможно. В случае категорического высказывания мы имеем дело с категориями **единичного, особенного** и **всеобщего**. Именно эти категории позволяют образовывать *понятия*, связывая своей мыслью *различные элементы в нечто единое*.

В категорических высказываниях утверждается, что в множество, соответствующее субъекту, входят элементы с определёнными свойствами (правда, свойство *"быть птицей"* не очень-то понятное, но об этом мы ещё поговорим в главе 23). Поэтому в категорическом высказывании легко найти субъект и предикат (свойство). Категорические высказывания выражают соотношение между *объёмами*, поэтому математики могут применять к ним законы алгебры множеств, которые изложены в главе 19, однако с важной оговоркой. Подразумевается, что множества, соответствующие субъекту и предикату, не являются **пустыми** – то есть содержат какие-то элементы. Этим формальная логика серьёзно отличается от логики математической, для которой все множества равноправны, причём все пустые множества совпадают друг с другом.

Упражнение 1. Хотя мы еще не вводили правил построения и анализа логических заключений (*силлогизмов*), разберитесь, корректен ли с точки зрения формальной логики силлогизм:

“Некоторые привидения разумны. Все привидения бестелесны. Следовательно, некоторые разумные существа – бестелесны.”

Из определения категорических высказываний очевидно, что они бывают **общие** и **частные**.

Пример **общего утвердительного суждения** (иногда обозначается буквой А): "Все философы – хорошие логики". Из него *следует* частное утвердительное суждение: "Некоторые хорошие логики – философы". Исходное утверждение предполагает, что человек, который оказался плохим логиком, не может быть философом. Если мы не согласимся с этим общим суждением, то нам придётся построить его **отрицание** так: "Некоторые философы не являются хорошими логиками" (*частное отрицательное суждение*). Для его обоснования понадобится привести пример философа, у которого с логикой не всё в порядке.

Упражнение 2. Пусть общее утвердительное суждение о логиках и философах верно. Изобразите объёмы множеств философов и множества хороших логиков на одном рисунке диаграмме. Будьте внимательны – возможны два варианта!

А как могут соотноситься объёмы данных множеств, если суждение неверно?

Пример **общего отрицательного суждения** (иногда обозначается буквой Е): "Ни один биолог не является хорошим логиком". Из него *следует* тоже общее отрицательное суждение: "Ни один хороший логик не является биологом". (Естественно, в данном случае и наоборот - первое высказывание следует из второго.) Если вы не согласитесь с первым или вторым суждением и захотите высказать **отрицание**, то необходимо будет сказать: "Некоторые биологи являются хорошими логиками" (*частное утвердительное суждение*). В качестве примера, подтверждающего вашу точку зрения, можно вспомнить Аристотеля; он был основателем формальной логики и внёс заметный вклад в биологию.

Упражнение 3. Изобразите объёмы множеств биологов и хороших логиков для случая, когда исходное общее отрицательное суждение верно и для различных случаев, когда оно неверно.

Расскажем курьёзную историю о **частном утвердительном суждении** (обозначается буквой I). Газета опубликовала статью под заголовком "Некоторые сенаторы – воры". По суду её обязали напечатать опровержение. Назавтра она вышла с заголовком: "Некоторые сенаторы – не воры". В заголовке (независимо от его фактической истинности) *отрицание* этого высказывания было построено неправильно. *Следствие* из этого суждения – тоже частное утвердительное: "Некоторые воры – сенаторы"

Упражнение 4. Как выглядит правильное отрицание этого суждения? Какие диаграммы соответствуют исходному суждению?

Наконец, **частное отрицательное высказывание** (оно обозначается буквой O). "Некоторые математики – не логики". **Из частного отрицательного высказывания не следует никакого высказывания!** Однако в главе 10 мы увидим, что из его сочетаний с другими высказываниями могут следовать некоторые суждения. А *отрицание* исходного высказывания будет таким: "Все математики – логики".

Упражнение 5. Нарисуйте все возможные варианты соотношений объёмов для частного отрицательного высказывания "Некоторые математики - не логики". Почему из него не может следовать никакое высказывание?

Вопрос 1. Приведите 1-2 биологических примера для каждого из типов высказываний. Постройте следствия этих высказываний и их отрицания. Нарисуйте диа-

граммы, соответствующие высказываниям и их отрицаниям.

Вопрос 2. Опровергните следующие высказывания:

“Все животные дышат”.

“Ни одна амфибия не заботится о потомстве”.

Рассмотрим теперь категорию единичного. Ей соответствуют *единичные* категорические высказывания (утвердительные и отрицательные). Приведём их примеры:

“Аристотель был философом.”

“Аристотель не был сторонником атомной теории.”

Мы не рассматриваем такие высказывания подробно, поскольку для большинства естественных наук (в отличие от гуманитарных) единичные суждения обычно не интересны. Единичный объект окружающего мира важен для них лишь постольку, поскольку он является элементом множества, соответствующего какому-либо понятию.

Следует отличать от единичных категорических суждений **суждения существования**. Пример: “Аристотель существовал”. По ряду причин *существование* не может рассматриваться как обычное свойство (предикат)¹.

Глава 9.

Иные типы высказываний

Возможны высказывания, выражающие не свойства, а отношения. Примеры: “Аристотель был учеником Платона», “Александр Македонский был учеником Аристотеля”, “Некоторые птицы питаются рыбами”, “Колючки кактусов гомологичны листьям других цветковых растений”.

Важный тип отношений – отношения причины и следствия. Например: “Из-за несовершенного устройства почек и проницаемости кожи практически не существует амфибий, живущих в солёной воде²”, “Благодаря особенностям кальциевого и фосфорного обмена у ко-

¹ В частности, возникают сложности при попытке рассмотреть множество, соответствующее этому свойству.

² Для взрослых амфибий важно также отсутствие жабр, через которые тоже можно было бы вывести соли.

пытных и родственных копытным животных могут образовываться рога".

Применить к таким высказываниям математическую и формальную логику гораздо труднее. Самый простой, хотя и не всегда успешный, путь – попытаться свести эти высказывания к категорическим. (В главе 11 мы ещё вернёмся к этому вопросу.) Например, заменив отношение причины и следствия отношением логического следования, можно вместо "Теплокровность – причина интенсивного обмена веществ." сказать "Если животное является теплокровным, то у него интенсивный обмен веществ" или "Все теплокровные – животные с интенсивным обменом веществ". Но такая замена – довольно грубое упрощение. Почему? Непонятно, что тут причина, а что – следствие.

В пользу того, что теплокровность можно рассматривать и как причину, а не только как следствие, убедительно говорит такой неформальный аргумент: "Когда насекомым необходим высокий уровень обмена веществ (например, для полёта), они вынуждены специально разогреваться на солнце или за счёт интенсивной мышечной работы». С формально-логической точки зрения, если есть теплокровные без интенсивного обмена веществ (но не наоборот), то причина – интенсивный обмен, а если есть животные с интенсивным обменом веществ и без теплокровности (но не наоборот), то причина – теплокровность. Верно скорее второе, но корректность примеров будет сильно зависеть от принятых определений.

Разберём вопрос по существу. Для теплокровности необходимо создание постоянных физиологических, биохимических и пр. механизмов (митохондрии бурого жира, дрожательные движения мускулатуры), которые позволяют не просто не терять тепло после разогрева, но не остывать в холодное время и без движения. Это расточительно – значит надо в 3-4 раза больше пищи на 1 кг веса тела. Чтобы добывать больше пищи в единицу времени, надо больше двигаться и чтобы период активности не зависел от погоды. Следовательно, сперва надо поднять основной обмен в разы, чтобы было что тратить на терморегуляцию. Таким образом, уровень обмена веществ выступает как причина.

На этом примере мы видим, что для анализа отношений причины и следствия необходим детальный содержательный разбор понятий, а не только формально-логический анализ.

Полезно рассмотреть ещё один тип высказываний, которые довольно легко спутать с обычными категорическими. На самом деле существует важная особенность, отличающая их от категорических.

Упражнение 1. Какую общую особенность имеют все приведённые ниже высказывания:

"Современные птицы насчитывают несколько тысяч видов".

"Из планет, на которых существует жизнь, нам известна только одна".

"Все несчастливые семьи несчастливы по-своему".

"Насекомые играют важную роль в биогеоценозах".

"Представители семейства чайковых встречаются на всех континентах".

"Средняя ожидаемая продолжительность жизни большого пёстрого дятла – 2-3 года" ?

Глава 10. Силлогизмы

«Я клал перед собой стопкой листы бумаги и, разбирая доказательства, каждый раз записывал, какие у оных силлогистические посылки, каков их порядок, какие выводы из них могут следовать, и при этом старался не упустить из виду условий, коим должны отвечать их посылки... Если с тем или иным вопросом у меня не ладилось, и мне не давался в нём средний термин силлогизма, я отправлялся в соборную мечеть, и молился, взывая о помощи к создателю вселенной, пока мне не отмыкалось то, что было замкнутым и не облегчалось то, что было многотрудным»

(Абу Али Ибн Сина. Автобиография.)

Теперь нам пора научиться делать умозаключения, то есть выводиться из двух категорических высказываний третье категорическое суждение (**заклучение**), в котором понятия, уже употреблявшиеся в старых категориче-

ских высказываниях (в *посылках*), связаны по-новому. Чтобы две посылки можно было логически связать таким образом, в них должно входить *общее понятие* (тот самый «средний термин силлогизма», обозначается буквой М). Но общего понятия не всегда достаточно. Например, какое заключение следует из пары высказываний: "Некоторые птицы летают" и "Некоторые насекомые летают"? Если нас не интересует объединение понятий "птицы" и "насекомые" (достаточно искусственное), то никакого (понятно, что заключение "некоторые птицы – насекомые", отсюда точно не следует). Из двух *частных высказываний* в рамках аристотелевской силлогистики никакого заключения вывести невозможно, хотя бы одно из них должно быть общим. Никакого заключения не следует в силлогистике также из *двух отрицательных высказываний*: "Никакие птицы не имеют жабр"; "Никакие черепахи не имеют жабр" Хотя бы одно высказывание должно быть утвердительным.

Какие же умозаключения из категорических высказываний (или *силлогизмы*) возможны? Запишем в общем виде, следуя Аристотелю, различные их разновидности, или *модусы*:

1. Если все М есть Р (большая посылка), и если все S есть М (малая посылка), то все S есть Р (заключение).

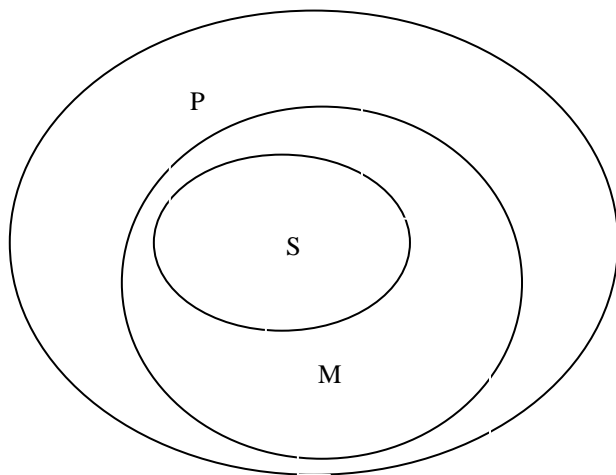


Рисунок 6.

В данном случае **большая посылка** (та, которая включает предикат заключения), **малая посылка** (та, которая включает субъект заключения) и **заключение** – общеутвердительные суждения. Поэтому схему данного силлогизма можно записать так: **ААА**. В более подробном виде силлогизм можно записать как $AMP \& ASM \supset ASP$ (\supset - знак следования, употребляемый, когда рассматриваются отношения объёмов).

Пример: “Если все живые существа способны к размножению, и если все животные – живые существа, то все животные способны к размножению”.

2. Если ни одно М не есть Р (большая посылка), и если все S есть М (малая посылка), то ни одно S не есть Р (заключение).

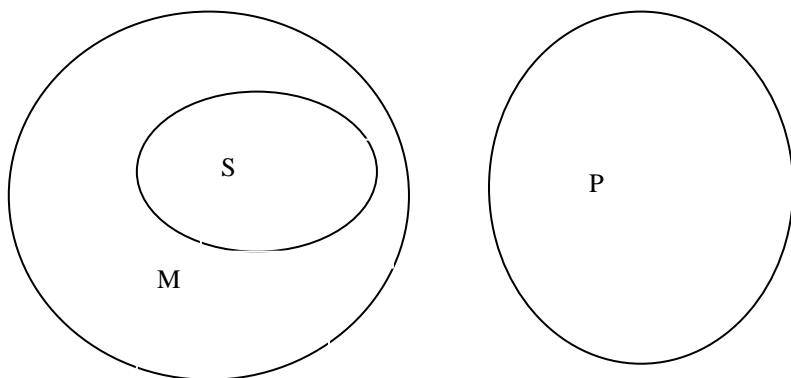


Рисунок 7.

Схема этого силлогизма **ЕАЕ**. Записать его можно как $EMP \& ASM \supset ESP$.

Пример: “Если ни одно фагоцитирующее существо не может быть бактерией, и если все амёбы способны к фагоцитозу, то ни одна амёба не относится к бактериям”.

На чём основываются эти силлогизмы? Если множество S является *подмножеством* множества M , то высказывания, которые верны для всех членов множества M , будут верны и для всех членов множества S (но не наоборот). Мы вновь встречаемся с отношениями логического следования – из того, что какое-то высказывание (в данном случае большая посылка) верно для членов множества M , следует, что оно верно и для членов множества S .

3. Если все M есть P (большая посылка), и если некоторые S есть M (малая посылка), то некоторые S есть P (заключение).

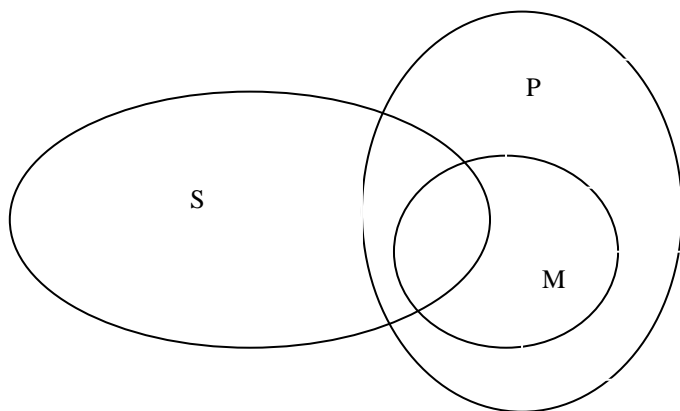


Рисунок 8.

Схема этого силлогизма – **АII**. Этот и другие силлогизмы попробуйте записать сами.

Пример: “Если все ленточные черви – паразиты, и если некоторые плоские черви – ленточные черви, то некоторые плоские черви – паразиты.”

4. Если ни одно М не есть Р (большая посылка), и если некоторые S есть М (малая посылка), то некоторые S не есть Р (заключение).

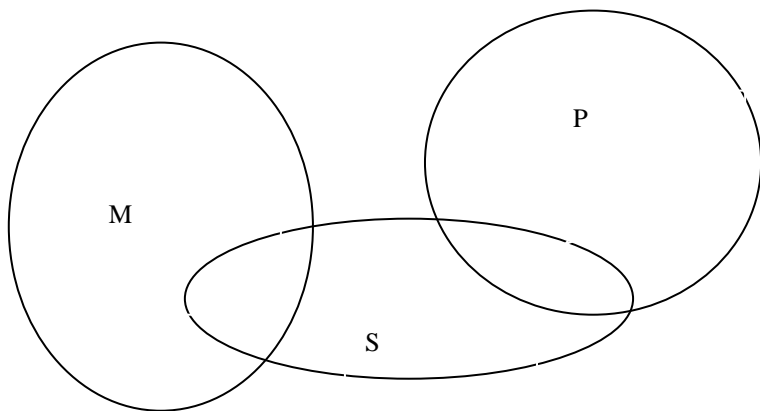


Рисунок 9.

Схема этого высказывания – **ЕЮ**.

Пример: “Если ни одно млекопитающее – не паразит, и если некоторые позвоночные – млекопитающие, то некоторые позвоночные – не паразиты.”

В третьем и четвёртом случаях если какое-то высказывание верно для всех членов множества *M*, то оно верно и для *некоторых членов* множества *S*, включающего множество *M*, (найдутся такие члены множества *S*, для которых высказывание верно).

Аристотель рассматривал только силлогизмы, для которых общее понятие (средний термин *M*) в большой посылке стоит на первом месте (является субъектом), а в малой посылке стоит на втором месте (является предикатом). Иногда подобные силлогизмы называют силлогизмами по I (первой) фигуре^{xvi}. Обратите внимание: для силлогизмов по I фигуре большая посылка является об-

щей, а малая – утвердительной. Другие фигуры и модусы выводятся из рассмотренных выше.

Более того, для выведения всех возможных силлогизмов достаточно принять как аксиомы два первых модуса силлогизмов по первой фигуре (AAA и EAE) и ещё несколько аксиом, выражающих интуитивно понятные отношения между объёмами понятий (множествами):

1. **Если всякое S есть P, то некоторые S есть P.** (Записывается как $ASP \supset ISP$.)
2. **Если никакое S не есть P, то никакое P не есть S.** ($ESP \supset EPS$)
3. **Если некоторые S есть P, то неверно, что никакие P не есть S. Наоборот, если неверно, что никакие P не есть S, то некоторые S есть P.** ($ISP \equiv \neg EPS$)
4. **Если некоторые S не есть P, то неверно, что все S есть P. Наоборот, если неверно, что все S есть P, то некоторые S не есть P.** ($OSP \equiv \neg ASP$)

В сущности, каждая из этих аксиом уже упоминалась в главе 8. Кроме того, в классической логике предполагается выполнение **закона тождества** (всякое S есть S¹).

Вопрос 1. а) Как и к какому уже известному вам силлогизму можно свести приведенный ниже силлогизм, хотя он построен не по I фигуре²:

“Если ни одно P не есть M, и если все S есть M, то ни одно S не есть P.” (Пример: “Если ни один дошколь-

¹ Точнее говоря, предполагается, что если некоторые S есть P (то есть входят в какое-то непустое множество, то всякое S есть S).

² Для доказательства советуем воспользоваться следствием одной из посылок этого силлогизма.

ник не знает высшей математики, и если все физики знают высшую математику, то ни один физик – не дошкольник.”)

б) Как можно доказать от противного следующий силлогизм¹:

“Если все P есть M , и если некоторые S не есть M , то некоторые S не есть P .” (Пример: “Если самолёты имеют мотор, и если некоторые летательные аппараты не имеют мотора, то некоторые летательные аппараты – не самолёты”.)

Упражнение 1. В этом упражнении приведен общий вид и отмечены некоторые особенности всех возможных силлогизмов, построенных не так, как у Аристотеля. В чём состоят отличия? Напишите краткие схемы всех приведённых силлогизмов. Каким силлогизмам соответствуют краткие схемы EIO и AOO ? Придумайте примеры (не обязательно из какой-либо области биологии, но желательно фактически верные) каждого из этих силлогизмов. Ответьте на все вопросы, заданные ниже.

Обратите внимание, что для любой фигуры силлогизма объём понятия M , которое входит в оба высказывания, либо целиком включён в объём понятия P или S , либо целиком исключён из него. Почему?

II фигура силлогизма

- 1. Если ни одно P не есть M , и если все S есть M , то ни одно S не есть P .**
- 2. Если все P есть M , и если ни одно S не есть M , то ни одно S не есть P .**
- 3. Если ни одно P не есть M , и если некоторые S есть M , то некоторые S не есть P .**
- 4. Если все P есть M , и если некоторые S не есть M , то некоторые S не есть P .**

¹ Доказать от противного – это значит показать, что из отрицания заключения логически вытекает отрицание одной из посылок.

Для силлогизмов по II фигуре большая посылка является общей. Одна из посылок (большая или малая) является отрицательной.

III фигура силлогизма

1. Если все М есть Р, и если всякое М есть S, то некоторые S есть Р.
2. Если некоторые М есть Р, и если все М есть S, то некоторые S есть Р.
3. Если все М есть Р, и если некоторые М есть S, то некоторые S есть Р.
4. Если ни одно М не есть Р, и если все М есть S, то некоторые S не есть Р.
5. Если некоторые М не есть Р, и все М есть S, то некоторые S не есть Р.
6. Если ни одно М не есть Р, и некоторые М есть S, то некоторые S не есть Р.

Для силлогизмов по III фигуре малая посылка является утвердительной. Заключение является частным.

IV фигура силлогизма

1. Если все Р есть М, и если все М есть S, то некоторые S есть Р.
2. Если все Р есть М, и если ни одно М не есть S, то ни одно S не есть Р.
3. Если некоторые Р есть М, и если все М есть S, то некоторые S есть Р.
4. Если ни одно Р не есть М, и если все М есть S, то некоторые S не есть Р.
5. Если ни одно Р не есть М, и если некоторые М есть S, то некоторые S не есть Р.

Для силлогизмов по IV фигуре если большая посылка утвердительна, то малая является общей. Если одна из посылок отрицательна, то большая посылка является общей.

Для каких силлогизмов по IV фигуре общими будут обе посылки?

Вопрос 2. Перед вами несколько умозаключений. Независимо от фактической правильности посылок и заключений, среди силлогизмов есть логически пра-

вильные (то есть правильно построенные) и *логически неправильные* (то есть неправильно построенные). Попробуйте свести логически правильные к уже известным вам силлогизмам или вывести их из этих силлогизмов. Нарисуйте диаграммы, соответствующие логически правильным силлогизмам из перечня 1-13.

Если рассуждение логически неправильно, то в нём из верных посылок могут следовать ложные заключения. Для логически правильного рассуждения такого быть не может. Поэтому чтобы доказать неправильность рассуждения, подберите аналогичное рассуждение, в котором из фактически верных посылок следуют фактически ложные заключения.

1. "Если все животные, имеющие лёгкие – дышат, и если все китообразные имеют лёгкие, то все китообразные – дышат".
2. "Если все крокодилы – амфибии, и если некоторые плотоядные существа – крокодилы, то некоторые плотоядные существа – амфибии".
3. "Если ни один человек – не мудрец, и если все биологи – люди, то ни один биолог – не мудрец".
4. "Если ни один биолог – не понимает логики, и если некоторые люди – биологи, то некоторые люди – не понимают логики".
5. "Если ни один подлец – не мудрец, и если каждый философ – мудрец, то ни один философ – не подлец."
6. "Если аскарида – паразит, и если некоторые круглые черви – не аскариды, то некоторые круглые черви – не паразиты".

7. “Если любая инфузория – имеет ядро, и если некоторые микробы – не имеют ядра, то некоторые микробы – не инфузории”.

8. “Если ни один пингвин – не птица, и если некоторые водоплавающие – пингины, то некоторые водоплавающие – не птицы”.

9. “Если каждая мидия – моллюск, и если ни одна морская звезда – не мидия, то ни одна морская звезда – не моллюск”.

10. “Если ничто разумное – не неживое, и если некоторые скалы – неживые, то некоторые скалы – неразумны”.

11. “Если каждая ворона – птица, и если каждая ворона – разумна, то некоторые разумные существа – птицы”.

12. “Если каждый человек – примат, и если каждая обезьяна – примат, то каждый человек – обезьяна”.

13. *Из книг я знал, что настоящая любовь сопровождается страданиями. Так, хотя и кружным путём, но со всей логической точностью я приходил к выводу, что люблю Анну.*

(С. Лем)

Вопрос 3. Правильно ли построены следующие умозаключения? В чём причины ошибок?

1. “Некоторые ключи целебны. Все ключи – слесарные изделия. Следовательно, некоторые слесарные изделия целебны”.

2. “Тяжёлые вещи тонут в воде. Учёба в институте – тяжёлая вещь. Следовательно, учёба в институте тонет в воде”.

3. "Латимерию открыл какой-то человек. Изображённый на портрете, висящем на стене, – какой-то человек. Следовательно, на портрете, висящем на стене, изображен первооткрыватель латимерии".

4. "Слова русского языка можно найти в словаре. Корова – слово русского языка. Следовательно, корову можно найти в словаре".

5. "Книга – источник поучения и развлечения. Справочник биохимика – книга. Следовательно, справочник биохимика – источник поучения и развлечения".

6) "Материя – бесконечна, сукно – материя, следовательно, сукно бесконечно".

Глава 11.

Первая схема силлогизма. Особенное и всеобщее. Что даёт использование силлогизмов?

Обратите внимание: *общие утвердительные умозаключения* получаются лишь при следовании первой схеме силлогизма (AAA). По этой причине Аристотель особо выделял данную схему. Чем важна эта схема с точки зрения Аристотеля (а следом за ним и с точки зрения прочих логиков)? Попробуем воспроизвести своими словами аристотелевские рассуждения^{xvii}. Пусть мы пользуемся таким силлогизмом:

“В треугольнике сумма углов равна 180° . Равнобедренный треугольник – треугольник. Следовательно, сумма углов равнобедренного треугольника равна 180° .”

Доказать равенство суммы углов треугольника 180° можно для любого треугольника, не только для равнобедренного (или только для остроугольного). То есть равнобедренный треугольник имеет сумму углов 180° по-

тому, что он треугольник, а не потому, что он равнобедренный. Иначе говоря, если мы **доказали**, что сумма углов треугольника равна 180^0 , то мы **понимаем**, почему можно применить соответствующую схему силлогизма к **любому** треугольнику, в том числе и равнобедренному. А вот если мы **случайно заметили**, что у всех треугольников, для которых мы вычисляли сумму углов, она равна 180^0 , то мы не можем сказать, чему равна сумма углов хотя бы некоторых новых треугольников. Может быть уже измеренные треугольники обладают этим свойством благодаря тому, что все они равнобедренные. Может быть благодаря тому, что все они остроугольные. А может быть благодаря ещё какому-то общему свойству, о котором мы не догадались.

Равнобедренный треугольник, изображённый на рисунке к упомянутому доказательству, будет представителем треугольников вообще, а не только остроугольных или равнобедренных. Иначе говоря, *в любом явлении* есть как особенное, так и всеобщее. Всеобщее – это не сумма всех особенных случаев и не простой набор общих для всех этих случаев свойств (таких общих свойств может и не оказаться), а именно та суть, благодаря которой разные объекты и явления подчиняются **общим** законам.

Нередко говорят о такой форме случайности, как **уникальность** явления. Например, жизнь известна нам в одном экземпляре – как жизнь на Земле, и мы не знаем, какие её особенности закономерны, а какие – случайны. Однако, знай мы другие варианты, ситуация могла бы не сильно облегчиться – например, мы могли бы просто не распознать в каком-то явлении жизнь. С другой стороны, удачно проведённый анализ может выявить черты всеобщего и в уникальном явлении, например, черты жизни вообще в земной жизни.

Часто говорят, что искать закономерности макроэволюции, то есть эволюции таксонов на уровне от рода (семейства) и выше вряд ли возможно, так как филогенетическая история каждой группы един-

ственна и неповторима¹. Тот же аргумент применяли для опровержения тезиса о наличии закономерностей в человеческой истории («*историцизма*» - его защищали марксисты и критиковали позитивисты)^{xviii}.

На самом деле единственность и неповторимость истории любой группы только кажущаяся. На уровне крупных таксонов параллелизмы являются нормой, а не исключением. Когда мы видим некоторую эволюционную проблему, например, заселение свободной адаптивной зоны, или развитие в сторону ещё не реализованной (потому что более сложной) морфологической организации, мы видим целый «пучок» параллельных линий *одного крупного таксона*, развивающихся «в направлении решения» данной проблемы. Хищные ящеротазовые (зауโรปоды) так развивались «в сторону» приобретения признаков птиц, в которых в конце концов превратилась одна из «ветвей» пучка, териодонты – в сторону «добирания» новых и новых признаков млекопитающих (сперва звукопроводящий аппарат из трех слуховых косточек, затем челюстное сочленение между зубной и чешуйчатой костями, потом мягкие, снабженные собственной мускулатурой губы, несколько расширенные большие полушария головного мозга, зона усиленного кровоснабжения на губах, связанные с формированием зачаточных вибрисс, трехбугорчатые щечные зубы и— верхние обонятельные раковины, по Л.П.Татаринову).^{xix}

Кто-то лидирует и осваивает новую адаптивную зону, адекватно меняет морфологическую организацию – это т.н. *эуадаптивные группы*. Большинство (инадаптивные группы) вымирают из-за несвоевременного проникновения в новую адаптивную зону или неспособности изменить организацию, кто-то отстаёт и останавливается в развитии по данному направлению: здесь и проявляется статистическое действие отбора, «поддерживающего» более эуадаптивные группы и повышающего риск вымирания более инадаптивных. Но в целом совокупность филетических линий, образующих «пучок» линий развития в одном направлении и решающих существенно сходные проблемы развития – выборка, вполне подходящая для анализа эмпирических закономерностей филогенеза, «правил движения» групп по эволюционным траекториям, по выражению А.С.Раутиана. Объединение всех филетических линий живого, параллельных, дивергентных и сетчатых, позволяет нам определить «границы применимости»

¹ Надеюсь, вы не спутаете закономерности филогенеза отдельных групп с факторами и механизмами эволюции как таковой, то есть конкретные траектории исторического развития и правила «хождения» по ним различных организмов с общими причинами, регулирующими данный процесс.

и «уровень значимости» найденных эмпирических закономерностей эволюционной истории.

Но что же мы получаем в результате использования силлогизма? Возможны несколько вариантов ответа.

Тавтологию, то есть *повторение* в иной форме тех высказываний о свойствах наших элементов, которые уже содержались в посылках. Для большинства людей тавтология – слово обидное, но для математика $X=1$ – это тавтология по отношению к $X^3-3X^2+3X-1=0$. Просто для математика найти множество корней соответствующего уравнения – специальная и не всегда простая задача. Но если мы имеем полное представление о наших понятиях и можем про любой элемент сказать, **входит** ли он **в соответствующие множества**, то наши высказывания выглядят, по существу, так:

“Все христианские средневековые философы писали на латыни ({Фома Аквинский, Пьер Абеляр, Ансельм Кентерберийский, Дунс Скот, Уильям Оккам, ... } писали на латыни).

Номиналисты были средневековыми христианскими философами ({Ансельм Кентерберийский, Дунс Скот, Уильям Оккам,...} были средневековыми христианскими философами).

Следовательно, номиналисты писали на латыни ({Ансельм Кентерберийский, Дунс Скот, Уильям Оккам,... } писали на латыни).”

(Кстати, кто такие номиналисты? Как Вы думаете, была бы им близка идея силлогизма как тавтологии?)

Ещё один вариант ответа – мы получаем представление наших знаний в *сжатом виде* благодаря применению **полной индукции** (то есть пользуемся понятиями как чем-то вроде библиотечного каталога). В самом деле,

каждый раз перебирать все элементы довольно хлопотно. Вместо этого можно один раз убедиться:

“Ансельм Кентерберийский писал на латыни, Дунс Скот писал на латыни, Уильям Оккам писал на латыни, ...” И так перечислить всех номиналистов.

После этого делаем вывод: все номиналисты писали на латыни. Теперь, даже если мы забыли труды конкретного философа, нам достаточно вспомнить, что он был номиналистом, чтобы понять, что он писал на латыни. Ещё проще будет, если окажется, что представители всех других школ средневековых христианских философов тоже писали на латыни. Тогда достаточно вспомнить, что кто-то был средневековым христианским философом, чтобы понять, что он писал на латыни. Можно запомнить и другие общие признаки средневековых христианских философов, которые нам могут быть интересны. Вот только одна беда – воспользовавшись этим методом, мы не можем быть уверены, что не обнаружится какой-нибудь средневековый христианский философ, писавший на ином языке.

Но почти все значительные средневековые христианские философы специалистам известны. А у живых организмов до сих пор новые виды обнаруживают (недавно в Индокитае нашли несколько новых видов полорогих – не каких-то насекомых, а крупных млекопитающих). В результате полная индукция может оказаться неполной. Помните: раньше считали справедливым высказывание “Ни одно млекопитающее не откладывает яиц”.

На вопрос о том, что даёт использование силлогизма, можно дать ещё такой ответ: “На любое знание (если это только не тавтология) стопроцентная гарантия не даётся. Всё, что мы можем – провести **неполную индукцию**. Это значит, что если все элементы множества, которые нам удалось перебрать, обладают определённым признаком,

то им, скорее всего, обладают и все остальные его элементы “.

Но откуда у нас такое право? Обратимся опять к Аристотелю: "Доказательство общего будет лучше, ибо оно в большей мере касается *причины и того, почему есть данная вещь*". Например, тот, кто разбирается в геометрических понятиях, способен доказать, что сумма углов треугольника равна 180° . Тот, кто что-то знает о средневековье и об истории религии, может объяснить, почему авторы в средневековой Европе писали на латыни.

Упражнение 1. Кстати, в каких странах вы стали бы искать средневековых христианских философов, писавших не на латыни? Почему? На каких ещё языках могут быть написаны труды средневековых христианских философов?

Однако ещё Аристотель понимал, что от усмотрения какой-либо закономерности до её правильного причинного объяснения может пролегать огромная дистанция, особенно в таких науках, как биология. А ведь он пытался (и во многом сумел) заложить *основания самых разных наук*. "Доказательства через причины есть доказательства того, почему есть данная вещь, доказательство же не через причины есть доказательство того, что данная вещь есть", и Аристотелю пришлось допустить оба типа доказательств, хотя и отдавая предпочтение первому.

Непонятно, например, из каких предпосылок выводить утверждение: "Устойчивость человека к болезням и стрессам оказывается наименьшей в последние четыре месяца перед днём его рождения», хотя оно не включает в себе ничего принципиально ненаучного и даже проверяемо с помощью экспериментальных и статистических методов.

Тем не менее, и сейчас следует прислушиваться к мудрому высказыванию Ибн-Рушда (известного в Европе как Аверроэс).

«Если мутакаллимы¹ сомневаются в наличии действующих причин, кои воспринимаются как обуславливающие друг друга, сомневаются потому, что имеются действия, причины которых не воспринимаются, то для этого нет никаких оснований. Те явления, причины которых не воспринимаются, остаются пока неизвестными и должны быть исследованы именно потому, что их причины не воспринимаются» («Опровержение опровержения»)

Ещё один огорчительный момент. Во многих естественных науках, в том числе и в биологии, даже умозаключение, которое было сделано с усмотрением причин, не всегда позволяет вывести *общее заключение* – об этом мы поговорим в главе 15.

Почему же мы, не зная, есть ли у найденной закономерности причина, считаем, что у нас имеются серьёзные основания её искать? Прежде всего потому, что во множестве, выделенном даже по одному признаку, обнаруживаются иные общие признаки его элементов, новые важные отношения между ними. Причинные связи действуют для соответствующих элементов сходным образом, хотя не всегда нам понятны их механизмы. Рассмотрим это на примере:

Упражнение 2. Как можно различить в нецветущем виде однодольные растения? Почему полезны обще-

¹ От араб. «мутакаллим» - говорящий. Реформаторское течение в исламе, следующее рационалистической теологии – калему или каламу. По словам их противника, «за основу истолкования мутакаллимы обычно принимают разум, предпочитая его Законоустановлениям. Если между тем и другим возникает конфликт, текст должен быть истолкован в соответствии с требованиями разума» (Ат-Турки. Вероучение имамов прошлого в совокупном изложении).

принятые способы, несмотря на существование, например, такого растения, как вороний глаз четырёхлистный?

Из этого упражнения видно, что содержание понятия можно уточнять, расширяя его объём за счет новых объектов, обладающих существенным сходством с уже выделенными. Но как определяют содержание исходного понятия? Это происходит при **идеализации** – выявлении черт всеобщего в объекте или явлении.

Задача 1. Отрывок из дискуссии: «Автор утверждает, что цель его статьи – показать универсальные механизмы урбанизации видов. Термин «универсальность» предполагает вселенский охват, однако автор обсуждает только евразийскую фауну».

Согласны ли Вы с подобным определением универсальности? Какую именно универсальность имеет в виду каждый из оппонентов?

Глава 12. Идеальный объект

Что добавили философы Нового Времени к представлениям Аристотеля о понятии? Прежде всего принципиально новый способ обнаружить в объекте или явлении черты всеобщего – представление об **идеальном объекте**.

Разберём его на примере "Диалогов" Галилея^{xx}. Аристотель считал, что движение продолжается до тех пор, пока на тело действует какая-либо сила. В частности, тела тяжелее воздуха движутся по направлению к центру Земли под влиянием природного стремления к своему естественному месту (некоторые древние греки не только понимали, что Земля – шар, но и смогли оценить его радиус). В эксперименте опровергнуть аристотелевские утверждения невозможно – в вязкой среде движение действительно требует постоянного приложения силы, а тела действительно падают по направлению к центру Земли.

Что же делает Галилей? Он устами своих героев *продолжает* рассуждения Аристотеля! Сначала он заменяет падение движением по наклонной плоскости:

"... На плоскости наклонной движущееся тело самопроизвольно опускается, двигаясь с непрерывным ускорением, так что требуется применить силу для того, чтобы удержать его в покое; на плоскости, поднимающейся вверх, требуется сила для того, чтобы двигать тело вверх, и даже для того, чтобы удержать его в покое, причём сообщенное телу движение непрерывно убывает, так что в конце концов вовсе уничтожается... А теперь скажите мне, что произошло бы с тем же движущимся телом на поверхности, которая не поднимается и не опускается ... если придать ему импульс движения в каком-нибудь направлении..."

Герои Галилея приходят к выводу, что в этом случае тело продолжало бы двигаться прямолинейно и равномерно (знакомый вам принцип инерции). Заметьте, что движение по окружности земной сферы у Галилея переходит в движение по прямой. Это происходит не потому, что Земля очень большая – на маленьком астероиде или на огромном Юпитере такой переход всё равно пришлось бы сделать. Земная сфера здесь – частный случай поверхности, при перемещении по которой, как сказал бы современный физик, не изменяется потенциальная энергия тела и не совершается работа.

Заметьте, что идеальный объект ("чистое" движение по инерции) получается не просто с помощью "вычитания" каких-то моментов, которыми в определённых условиях можно пренебречь, например, трения, а с привлечение сложных мысленных представлений. В физике идеальный объект вместе со способом его наблюдения и анализа – мысленным экспериментом - имеет длительную историю развития. Сейчас построение мира подходящих для решения проблемы идеальных объектов служит основным инструментом физических теорий.

Непонятно, возможен ли аналогичный подход в биологии. В ней невозможно игнорировать разнокачественность объектов и её фатальное следствие – зависимость свойств от типа отношений в системе, объединяющей эти объекты в некое целое (популяция, социум, экосистема, организм) и имеющей свою историю^{xxi}. Видимо, объектом идеализации в теоретической биологии в первую очередь должны стать именно такие системы^{xxii}.

Во всяком случае, способность использовать идеальные объекты существенно влияет на эффективность даже таких сугубо практических сфер деятельности как торговля. Историк М.Н.Покровский

приводит такой пример^{xxiii}. Писавший о России в середине 17 века шведский комиссар де Родес указывает, что русские упрямо стоят на своей цене и не стесняются тем, что из-за этого иногда пропускают сезон, бывают случаи, что им из-за этого удаётся сбыть товар только на пятый. Если бы они с самого начала уступали ту цену, которую предлагали им иностранные купцы, то эта сумма, с процентов за пять лет, была бы выше той, которую они требовали, «но они не считают процентов, пропадающих из-за того, что капитал лежит у них без движения». Как мы видим, наличие в сознании купца такого идеального объекта как «процент на капитал», существенным образом влияет на его экономическое поведение.

Глава 13.

Обобщение и ограничение понятия. Деление понятия

Как можно получать новые понятия? Наиболее распространённые способы – **обобщение** и **ограничение**. Обобщая, мы переходим к понятию с большим объёмом, чем исходное понятие; при ограничении же – к понятию с меньшим объёмом.

Пример ограничения понятия: "*средство передвижения*" → "*средство передвижения по земле*" (к содержанию понятия добавляются новые признаки).

Ограничение понятий происходит, в частности, при **делении** понятий¹. При делении множество, которое соответствует понятию, целиком разбивается на непересекающиеся подмножества (классы). Если **основания деления** выбраны удачно, то деление понятия помогает лучше понять его содержание. Например, разделив млекопитающих по способам их питания, мы лучше поймём, какие возможности для ведения разного образа жизни создаёт план строения млекопитающих.

¹ Деление понятия - неотъемлемый элемент любой классификации.

Деление понятия должно проводиться с соблюдением определённых правил. Во-первых, оно должно быть **соразмерным**. При делении должны быть указаны все члены, составляющие в совокупности объём данного понятия, и только они. Например, производя деление понятия “*средства передвижения*”, мы должны вспомнить о средствах передвижения по твёрдой (автомобиль) и жидкой (моторная лодка) поверхности, о средствах передвижения в безвоздушном пространстве (ракета), в атмосфере (самолёт), в жидкости (подводная лодка), а может быть – и в твёрдой среде. В то же время мы не должны включать в перечень неподвижные макеты средств передвижения.

Во-вторых, деление должно на каждом шаге производиться по **одному определённому основанию**. Например, сначала мы можем разделить средства передвижения на те, которые обеспечивают движение в определённой среде, и на те, которые обеспечивают движение на границе двух сред. Далее каждую из этих групп можно делить отдельно. Обычно (но не всегда) такая процедура гарантирует, что **члены деления** (или **классы** – не путать с классами систематиков!) будут **исключать друг друга**. (Постарайтесь найти примеры, когда так все же не получается.) Кроме того, при делении по определённому основанию не возникает **скачков в делении** типа: “Трофические уровни (положения, которые организмы могут занимать в пищевых цепях¹) делятся на уровень продуцентов, уровень редуцентов, уровень консументов первого порядка и уровень консументов второго и последующих порядков”².

¹ Кстати, почему мы говорим об уровнях (положениях), а не о самих организмах?

² Правильнее – на уровни продуцентов, редуцентов и консументов, поскольку отличия положений разных консументов друг от друга не так велики в сравнении с отличиями этих трёх основных членов деления.

Понятие, которое соответствует одному из классов, получающихся при делении, должно находиться в отношении противоречия с понятием, которое соответствует всем прочим классам, вместе взятым ("*средство передвижения в толще воды*" и "*средство передвижения не в толще воды*"). Кроме того, понятие, которое соответствует одному из классов, должно находиться в отношении противоположности с понятием, соответствующим любому другому классу ("*средство передвижения в толще воды*" и "*средство передвижения в воздухе*").

Кстати, если никто ещё не изобрёл машину, способную передвигаться в твёрдой среде, надо ли включать её в классификацию? Многие биологи ответят "нет", поскольку они привыкли иметь дело с тем, что реально существует, а не с тем, что логически возможно. А что делать, если устройство способно, как гидроплан, передвигаться в атмосфере и по поверхности воды? Поэтому деление понятия, соразмерное с точки зрения биолога, для логика не всегда выглядит соразмерным и произведённым по определённом основанию.

Задача 1. Ещё с позапрошлого века известна история о вывеске петербургского гробовщика: «Гробы русские, немецкие, католические и металлические». Чем плоха такая классификация и почему, несмотря на свои недостатки, она, по всей видимости, устраивала гробовщика и его заказчиков?

Смеяться над гробовщиком отнюдь не следует.

Подобные логические дефекты, как мы пытались показать ещё раньше, не есть принадлежность только классификаций, построенных людьми безграмотными, и тем более не есть принадлежность только зоологических и ботанических классификаций, а имеют объективные причины. Продукт Gene Ontology, например, создавался молекулярными биологами для классификаций белков по биохимическим функциям, роли в биологических процессах и расположения в клеточных структурах. Сама постановка задачи была очень строга:

охарактеризовать результат каждого шага деления цифрой, а результат классификации – последовательностью цифр. Для начала оказалось, что некоторым белкам в классификациях соответствуют более одной последовательности – например, в силу того, что некоторые белки мультифункциональны, а классифицируются при этом белки, а не функции. За этим последовали и другие отклонения от строгой логики классификации.

Классификации же систематиков часто нагружены дополнительной задачей – принимая во внимание гипотезу о родственных связях, понять, какие признаки оказались значимы для биологии каждой из групп классифицируемых организмов, связанных родством. По этому поводу можно порекомендовать довольно сложную статью^{xxiv}.

Вопрос 1. Предложите деление понятия “побег” (цветкового растения) или понятия “листь” (цветкового растения). Желательно сделать несколько *шагов деления*, то есть каждое новое понятие разделить ещё хотя бы один раз. На каждом шаге укажите основания деления.

Объясните, почему деление на листовую пластинку и черешок не является делением понятия “листь”.

Обычно считается, что при обобщении содержание понятия обедняется из-за отбрасывания части признаков: например “треугольник → многоугольник”, “животное → живое существо”. Но как узнать, какие признаки мы можем отбросить, чтобы оставшиеся признаки были друг с другом связаны, чтобы новое понятие оказалось содержательным? Рассказывают анекдот про то, как студент-юрист обобщил юридическое понятие обмана. Он сохранил почти все признаки, упомянутые в формальном определении, но опустил то свойство, что юридический обман - правонарушение, совершённое в корыстных целях. “Если вы, профессор, поставите мне двойку, то это будет обман, поскольку вы воспользуетесь моим неведением для причинения мне вреда”.

В обобщении обычно присутствует момент идеализации, поэтому его не всегда можно проделывать формально. В психологических тестах часто предлагается определить понятие, применив в той или иной форме операцию обобщения. Вот пример такого теста.

Вопрос 2. Начнем с тренировки. Рассмотрим набор, в котором все слова, находящиеся в скобках, имеют какое-то отношение к стоящему перед скобками:

Игра (карты; игроки; штрафы; наказания; правила).

Требуется выбрать из него два слова, относящиеся к наиболее существенным признакам исходного понятия.

Правильный ответ – игроки и правила, поскольку без того и другого игры не будет. Карты, штрафы и наказания имеют отношение далеко не ко всем играм.

Выполните такое же задание для трех приведенных ниже биологических понятий, а затем дайте определение этих понятий¹. Число слов, выбранных из скобок, может быть любым.

Дыхание (животные; кислород; получение энергии; органы дыхания).

Хищничество (многоклеточные; добыча сходна по размеру с хищником; позвоночные; подвижная и активная добыча; челюсти; консументы).

Окончательный хозяин (хищник; второй по счёту (считая с яйца) хозяин; хозяин, в котором происходит половое размножение паразита; наиболее активный из хозяев).

В знаменитых опытах Кёлера^{xxv} было показано, что шимпанзе трудней даётся дифференцирование понятий и выделение новых

¹ О том, как можно давать определения, рассказывается в главах 14 и

классов объектов, существенных для решения какой-то задачи, чем создание обобщённых представлений о разных объектах и дальнейшее оперирование этими абстракциями. Люди здесь недалеко ушли от человекообразных обезьян: обычные люди и даже действующие учёные легко производят эмпирические обобщения и рожают обобщённые понятия. Обратный процесс разделения сущностей и различения тех объектов, которые раньше считались единым целым, происходит реже и даётся намного трудней.

Глава 14.

Определения понятий через род и видовое отличие. Виды признаков. Использование признаков в систематических определителях и диагнозах

Посмотрим теперь, какие **определения** понятий используются в логике. Один из самых распространённых способов определения – через **ближайший род и видовое отличие**. Что такое род и вид для логика? Известный пример – роды и виды из бинарной номенклатуры систематиков, предложенной Карлом Линнеем. Но это лишь частный случай. Скажем, семейство систематиков – логический род по отношению к роду систематиков и логический вид по отношению к отряду систематиков. Иначе говоря, если было произведено деление понятия, то логический род – это то, что делится на виды, а логические виды – то, что составляет род. Желательно обойтись без скачков в делении, чтобы род был *ближайшим*. Понятно, что есть типы признаков, которые заведомо не стоит рассматривать при выделении вида. Например, для систематика это такие случайные и преходящие особенности, как вывихнутая нога или загар. Рассмотрим только такие типы признаков, которые могут быть полезны при делении и при дальнейшем использовании получившихся родов и видов.

Античная традиция^{xxvi} считала, что **отличительные** признаки вида должны не просто выделять соответствующий объём понятия, но выражать его сущность, которая делает вид тем, что он есть ("Человек – разумное и смертное животное"). Поэтому в правильно построенном определении субъект и предикат можно поменять местами: "Разумное и смертное животное – это человек". Поскольку трудно выяснить, какое отношение к сущности имеют уникальные признаки, то вид обычно характеризовали *комбинацией отличительных признаков*, каждый из которых присущ нескольким видам.¹ Вернувшись к представлениям Аристотеля, мы можем отметить, что для него род играет роль материи (имеющей свою особую природу, но неоформленной), а отличительные признаки – роль формы, закона существования, которая определяет, оформляет эту материю до конкретного вида данного рода.

До каких пор может продолжаться деление понятия? Какие виды можно считать наименьшими, состоящими уже не из других видов, а из **индивидов** (что дословно значит – неделимых)? С античной точки зрения всё довольно просто. Различия индивидов, в противоположность различиям видов, не связаны с их сущностью, они в определённом смысле случайны (один человек рыж, другой бородат, третий хромоног, но все они в равной мере люди). Однако представление о том, что различия индивидов не связаны с их сущностью - не единственная возможная точка зрения². Например, с позиции Гёте¹ по-

¹ Зевс для древнего грека был разумным и бессмертным животным, поскольку он мог двигаться и чувствовать, а значит, обладал животной душой.

² Биологи нередко пишут о том, что как индивиды могут рассматриваться биологические виды. В данном случае биологический вид рассматривается таким образом не потому, что систематические единицы поделить более дробным образом нельзя (есть, например, подвиды, расы и т.д.). Но объединение отдельных особей именно в случае вида создаёт некое единство, связанное регулярными социальными отношениями, скрещиванием и т.д. Иначе

нятие должно охватывать не только общие черты индивидов, но и ту часть разнообразия, которая связана с сущностью вида^{xxvii}. Возможно, античному логичу понравился бы такой пример: среди людей могут быть мудрецы, помнящие о смерти и дураки, которые о ней не думают.²

А что делала античная традиция с уникальными (*собственными*) признаками? (Известный пример такого признака: "*Человек – животное, способное смеяться*".) Эти признаки включали не в *определение понятия*, а в его *описание*, позволяющее убедиться, что мы правильно выделяем по объёму понятие, с которым имеем дело. В описание могут входить и не уникальные признаки. С античных времён сохранилось противопоставление определения и описания. Например, в описании уже нельзя поменять местами субъект и предикат – такая замена выглядит неестественно: "Способное смеяться, двуногое и беспёрое животное – это человек".

В старых учебниках логики указывают, что среди признаков, которые характеризуют вид, но не годятся на роль отличительных, бывают:

1) характеризующие лишь часть индивидов данного вида ("*среди людей есть геометры*");

2) характеризующие представителей нескольких видов, но не относящиеся к их сущности ("*люди и птицы ходят на двух ногах*"³);

говоря, биологический вид выделяется как индивид при движении «снизу», а не «сверху».

¹ Того самого, который был великим немецким поэтом, а также философом, естествоиспытателем и т.д.

² Поскольку с античной точки зрения разум – это способность, которой можно пользоваться или не пользоваться.

³ С этим связан известный анекдот про Диогена, который, услышав от Платона, что человек – существо двуногое и беспёрое, принёс ему ошипанного петуха. "Вот человек Платона", - сказал он.

3) характеризующие всех индивидов данного вида, но лишь на определённом этапе существования (*прямохождение для здоровых людей старше двух лет*);

4) собственные (уникальные) признаки в точном понимании этого слова, то есть характерные для всех представителей вида и только для них.

Кстати, согласно подходу Гёте ситуации 1) и 3) могут встречаться и для отличительных признаков (пример: млекопитание млекопитающих).

Задача 1. Приведите пример случая 3), не относящийся к живым существам?

Задача 2. Определите понятие “*паразит*”. Представьте себе, что мы составили соответствующее этому понятию множество из видов живых существ. С какой проблемой мы можем столкнуться, выясняя, паразит кто-то или нет? Из каких элементов лучше составлять такое множество?

К сожалению, из новых учебников логики эта классификация пропала. Однако биологу важно помнить о каждом из упомянутых в ней случаев. Чтобы Вы могли лучше усвоить эту классификацию, мы помещаем в пособии несколько вопросов про определение организмов разных групп. Но прежде всего вспомним, как устроен определитель любой группы организмов (птиц, высших растений, лишайников...), и как с ним обращаться.

Для определения по ключу обычно используются признаки, которые части определяемых видов присущи, а части – нет. Пример *тезы* и *антитезы* (то есть двух вариантов, из которых следует выбрать один) в ключе:

7 (3) Листья и почки супротивные 8 (*теза*)

— Расположение листьев и почек иное 13 (*антитеза*)

На каждом шаге определения мы выбираем подходящую тезу или антитезу и в соответствии со стоящим напротив неё указанием (пункт 8 или пункт 13) переходим к новому выбору, пока последовательность выбранных признаков не укажет на конкретную систематическую группу.

Любой определительный ключ – дело рук человеческих. Работа систематика по составлению определителя сходна с делением понятия. Признаки, присущие нескольким видам (а не какому-то одному), используются в ключе не потому, что в глазах систематика они обязательно существенны (являются отличительными). Просто эти признаки позволяют сделать ключ более экономным.

Вопрос 1. Пусть в одну из групп организмов входит около 1000 видов. Ключ для определения можно построить на уникальных признаках каждого вида, так что каждая теза будет отсекалть один из видов этой группы, а антитезе будут соответствовать все оставшиеся. Другой способ – выбрать признаки так, чтобы на любом шаге определения тезе и антитезе соответствовало примерно одинаковое количество оставшихся (не отсеянных ранее) видов.

Пусть на каждый шаг определения мы тратим минуту. Сколько в худшем случае уйдет времени на определение при первом варианте ключа? А сколько примерно времени понадобится на определение при втором варианте?

Вопрос 2. Определители беспозвоночных, как правило, содержат ключи для определения только самок, но не самцов дафний и коловраток. С чем это связано?

Как ни странно, существенные в глазах систематика признаки обычно упоминаются как раз в **диагнозе**, то

есть в *описании* вида или более крупной группы организмов.

Вопрос 3. Возьмите определитель, содержащий ключ и диагнозы видов, принадлежащих к **нескольким близким родам** (например, к одному небольшому семейству или подсемейству).

Упомянуты ли в диагнозах или в ключе уникальные (хотя бы по сравнению с другими видами нашей полосы) для какого-либо вида признаки?

Бывают и признаки, которые характерны для нескольких видов, принадлежащих разным родам (а у других видов этих родов данные признаки не встречаются). Упомянуты ли подобные признаки в диагнозе какого-либо вида?

Если в ключе используют признаки, характерные для нескольких видов разных родов, то их обычно приходится применять в нескольких местах, поскольку при определении стремятся сначала разделить разные рода, и лишь потом – разные виды¹. Имеются ли подобные примеры в вашем определителе?

Следует учесть, что одни и те же признаки могут использоваться для выделения систематических групп совершенно разного ранга (и в зависимости от хода определения встречаться, таким образом, или в самом его начале, или в самом его конце). Например, наличие или отсутствие плавательного пузыря в некоторых случаях отличает целые отряды рыб, а в роде Скумбрия по этому признаку отличаются виды.

Вопрос 4. По каким признакам можно опознать в нецветущем виде представителей семейств Злаковые,

¹ В этой ситуации два понятия, полученных при делении одного общего понятия, на каком-то из следующих шагов делятся по одному и тому же основанию.

Осоковые, Гречишные, Губоцветные? Какие из этих признаков являются уникальными для соответствующих семейств?

Систематики иногда используют в работе уникальные признаки. Однако если признак или сам объект уникальны, то нам необходимо дать их определение или описание с помощью комбинации "обычных" признаков. Работать с уникальным каким-либо иным способом мы не можем. Поэтому говорить об уникальных признаках и пользоваться ими довольно трудно.

Задача 3. *"Человек – животное, способное смеяться"*. Попробуйте дать определение смеху. Желательно, чтобы под это определение не подходило, скажем, конское ржание. Желательно также, чтобы, пользуясь этим определением, специалист по поведению животных мог ответить на вопрос, есть ли аналогичные (например, по происхождению или по функции) явления у человекообразных обезьян.

Задача 4. Придумайте описание инопланетянина: **а)** родственного какой-то форме земной жизни (наши общие предки были занесены на его планету), **б)** не находящегося в родстве с какой-либо из форм земной жизни. Желательно, чтобы по описанию можно было представить его образ жизни.

Глава 15.

Применение определений через род и видовое отличие. Отрицательные определения и определения, содержащие признак лишь части элементов множества

Понятно, почему логики любят определения через род и видовое отличие. К ним очень удобно применять модус ААА первой фигуры силлогизма. Пример: "Если человек – (разумное и смертное) животное, и если все животные способны к размножению, то человек способен к размножению".

Упражнение 1. Почему предпочтительно давать определение именно через *ближайший род*, а не говорить, например: "*Человек есть физическое тело, разумное и смертное?*"

Вопрос 1. Найдите в литературе или придумайте сами два-три примера биологических определений через род и видовое отличие.

Ясно, что для самых общих понятий (например, категорий) определения таким образом давать уже нельзя, поскольку невозможно отыскать подходящий род. Предположим, мы сказали: "*форма есть способ существования содержания*". Но в определении *содержания* понадобится отразить тот факт, что оно хотя бы отчасти сохраняется, существуя в разных *формах* (например, сюжет книги сохраняется в снятом по ней фильме¹). Однако формальная логика запрещает такой **логический круг**, поскольку понятие содержания, в свою очередь, придётся тогда определять с использованием понятия формы. Тем не менее, содержание категорий раскрывается именно в подобных сопоставлениях. Мы видим, что можно прийти до таких граничных понятий, которые правилам формальной логики уже не подчиняются.

С помощью **со- и противопоставлений** разных групп растений по обширному списку признаков выделял свои категории и французский ботаник Адансон. Его подход проистекал из того, что мы не можем заранее указать значимые для классификации признаки и должны выделить их при таком сравнении. Сильная сторона адансоновских категорий в том, что такое определение допускает изменение диагностических признаков при сохранении отношений между категориями^{xxviii}. К сожалению, при последовательном проведении подобного подхода естественная классификация (исходящая из комплексов признаков, устойчиво и закономерно связанных между собой, см. упр.2 к гл.11 – что весьма близко к идеям Адансона) технически вообще представляется невозможной. Ведь все признаки, которыми по-

¹ По крайней мере так должно быть с точки зрения охраны авторских прав.

тенциально может воспользоваться для различения исследователь (и, кстати сказать, естественный отбор) нельзя не только исчерпать, но даже пронумеровать.^{xxix}

Понятно также, почему логики недолюбливают *отрицательные* определения, в которых указывается, чем нечто *не является* или каких признаков у объектов нет. Пользуясь такими определениями как одной из посылок, *нельзя получить утвердительное заключение* (проверьте по схемам силлогизмов). Однако у биологов отношение к таким определениям несколько сложнее.

Задача 1. а) *"Змеи – это пресмыкающиеся, лишённые конечностей, типичных для наземных позвоночных"*. Какие черты строения, физиологии и образа жизни змей связаны с этой особенностью?

б) *"Круглоротые, хрящевые рыбы и лучепёрые рыбы – это позвоночные, у которых отсутствуют конечности с собственной мускулатурой (типичные для наземных позвоночных и лопастепёрых рыб)"*. Является ли это утверждение столь же информативным, как предыдущее?

в) *"Современные головоногие – это моллюски, которые полностью или частично утратили раковину."* Какие черты строения и образа жизни головоногих связаны с этой особенностью?

Какие моллюски, по-видимому, никогда не имели полноценной раковины, закрывающей практически всё тело? Похожи ли они на головоногих?

Пользуясь как одной из посылок определением, содержащим *частное высказывание*, согласно формальной логике *невозможно* получить *общее заключение* (проверьте).

Задача 2. *"Большинство птиц способны к полёту"*. Какие черты строения, физиологии и образа жизни птиц связаны с этой особенностью? Почему это высказывание сообщает довольно много обо всех птицах (даже о нелетающих)?

С точки зрения формальной логики высказывание *"Большинство птиц способны к полёту"* является *частным* высказыванием, эквивалентным следующему: *"Некоторые птицы способны к полёту"*. Раз есть птицы, к полёту неспособные, то нельзя сказать *"Все птицы способны к полёту"*. Классическая формальная логика имеет дело только с высказываниями об отдельных элементах, но не может при

рассмотрении множества в целом выразить понятия "большинство", "почти все", "разнообразны", "насчитывают" и т. п.

В биологии, однако, очень часто приходится иметь дело с высказываниями типа "Большинство...", "Почти все...", "Многие...", а не типа "Все...", хотя соответствующие высказывания могут отражать чёткую причинную связь. С чем это связано?

Во-первых, *материальная причина* создаёт лишь *возможность* возникновения некоторого явления. Например, рога бывают у многих копытных (что явно связано с особенностями обмена веществ у этих животных), но не у всех. А у кроликов, которых многие систематики сближают по происхождению с копытными, бывают мутации, приводящие к появлению рогов, – но кролики из природных популяции как правило безроги. Соответствующее высказывание - "У многих копытных бывают рога."

Во-вторых, какая-либо *цель* может быть *достигнута разными способами* – как самым очевидным и естественным, так и более частными и необычными. Так, почки амфибий не позволяют эффективно удерживать в организме воду, а кожа воду легко пропускает. Иначе говоря, наиболее естественные и употребительные для позвоночных способы адаптации к солёной воде для амфибий исключены. Казалось бы, амфибий, живущих в солёной воде, быть не должно. Однако лягушка-крабод (*Rana cancrivormis*), живущая в эстуариях¹ со значительной солёностью воды, имеет повышенную концентрацию мочевины в организме, как хрящевые рыбы. Благодаря этой особенности осмос удерживает в её организме воду, хотя и хуже, чем у акул и скатов. Соответствующее высказывание: "Почти все амфибии неспособны жить в солёной воде".

В-третьих, в силу случайности по совпадению на один и тот же объект может действовать *несколько действующих и формальных причин*, и в некоторых случаях иные причины *затемняют проявления закономерностей*. Так, наследственная карликовость связана не только с малым ростом, но и с другими особенностями облика, например, с аномалиями строения скелета (хотя при разных типах карликовости – с разными). Поэтому мы можем независимо от роста выявить карликов и сказать, что нормальные взрослые люди (не карлики) обычно имеют рост более 145 см. Однако отличия по другим генам также создают вариации в росте – и изредка встречаются генетические комбинации, дающие нормального человека с маленьким

¹ Эстуарий – расширенная часть речного устья, заполнившаяся морской водой.

ростом. Соответствующее высказывание: "Почти все взрослые европейцы с ростом ниже 145 см - карлики".

Вопрос 2. Приведите ещё примеры того, как в высказываниях о важной биологической закономерности мы не можем поставить слов "все", а вынуждены ограничиваться словами "почти все" или "многие". С чем это связано в данных случаях?

Глава 16.

Генетические и операциональные определения

Ещё один вид определения – **генетическое определение**. К науке генетике он имеет очень отдалённое отношение, а связан с *генезисом*, то есть происхождением. Такие определения указывают, как возник объект или как его можно создать. Пример генетического определения: "Конические сечения – это все типы кривых, которые можно получить при сечении поверхности конуса плоскостью" (окружность, эллипс, парабола, гипербола¹). Генетическое определение, имеющее отношение к генетике: "Гибрид – это организм, возникший в результате скрещивания представителей двух разных чистых линий, сортов, пород или видов".

Вопрос 1. К генетическим определениям в зоологии относятся определения понятий "первичный рот", "первичная полость тела", "вторичная полость тела", "миксоцель". Найдите в литературе эти определения и объясните, почему они генетические.

Задача 1. Приведите примеры генетических определений в геоботанике. Как вы думаете, какие представления геоботаников заставляют их прибегать именно к генетическим определениям?

¹ Напомним Вам, что при таком сечении можно получить также точку, прямую или пару прямых (математики представляют себе, что конус по обе стороны от своей вершины продолжается в бесконечность).

Операциональные определения указывают, как измерить или качественно охарактеризовать какую-то величину (массу, химическую активность, жизнеспособность, агрессивность). Без них невозможны экспериментальные науки. Если два исследователя называют какое-то понятие одинаково, а измеряют его по-разному, то сопоставлять их результаты нельзя.

Вопрос 2. Придумайте несколько способов, позволяющих охарактеризовать в опыте относительную *выносливость* разных сверстников. Могут ли различаться результаты, полученные каждым из этих способов? Почему? Какой из способов лучше всего применять для подбора туристической группы в однодневный пеший поход?

Понятно, что способы, предлагаемые для измерения какой-то величины, определяются содержанием соответствующего понятия, а часто и связями этого содержания с другими теоретическими представлениями. Например, операциональное определение *территории птицы* было таково: мы регистрируем все точки, в которых встретили птицу, и определяем площадь соответствующего многоугольника. Когда (на это обычно нужно 6-7 дней наблюдений) новые точки не увеличивают этой площади, мы считаем, что очертили территорию. Точки случайных залётов птицы за границы территории при этом из многоугольника выпадают¹.

Однако было показано, что у многих видов приверженность определённой территории связана с *иерархическими отношениями* животных в поселении. Ранг животного (грубо говоря, вероятность его победы в территориальных конфликтах) в этих случаях связан с устройством его территории, и в пределах своей территории животное ведёт себя в соответствии с рангом (а за границей территории – непредсказуемо). Для этих случаев ученые дали новое определение территории: “территория – это пространство, на котором особенности

¹ Все владельцы территорий регулярно вылетают за их пределы и совершают рейды по участкам соседей, там кормятся токуют и даже спариваются. Но эти рейды не образуют определённой фигуры в пространстве – это размытое облако или определённые линии вылазок (скажем на вторую территорию или ко второй самке).

поведения птицы можно предсказать, зная её ранг". Это сразу же дало неожиданный результат. Мы помним, что территорию орнитолог очерчивал за неделю, но оказалось, что площадь территории направленно изменяется в течение 24-48 ч в соответствие со скачкообразной сменой рангов в группе птиц-соседей. Понятно, что в этом случае желательнее развести первоначальное и более позднее понятие территории, дав им разные названия, но этого пока не сделано.

Ещё один пример. Понятие популяции вначале было введено прежде всего в связи с тем, что на достаточно большой территории характер колебания численности особей определённого вида оказывался сходным¹. В дальнейшем популяционные генетики связали такую подразделённость вида внутри ареала с его генетической подразделённостью, то есть с разной степенью генетического обмена внутри и между популяциями. Однако исследование математических моделей показало, что для сохранения свойственного обеим группировкам набора аллелей достаточно сравнительно редкого и спорадического обмена особями.

В то же время сходство колебаний численности предполагает связанность группировок внутри единой популяции системой регулярных и упорядоченных миграций, которая обычно действительно имеет место. Эта же система может поддерживать сходство аллельных частот в группировках и регулярный характер изменений аллельных частот в пространстве, где обитают связанные ею группировки. По всей вероятности, дело может кончиться разведением двух понятий популяции как для экологии, так и для популяционной генетики.

Замечательный пример разведения двух понятий в гуманитарном знании – понятия фабулы и сюжета. Определённую историю, например, историю путешествия, можно рассказать по-разному. Если мы будем рассказывать события в той последовательности, в которой их переживает главный герой, то интерес читателя волею неволей сосредотачивается на «выживет-не выживет», «вернётся-не вернётся». Если же вернувшийся герой будет рассказывать историю путешествий своему другу, то интерес читателя привлекается к тому, как герой воспринял произошедшие события, какие душевные качества проявил при их оценке. Поэтому разумно развести сюжет и фабулу. Б.В.Томашевский, например, дал такое определение: "Фабулой называется совокупность событий, связанных между собой, о кото-

¹ И отличным от хода численности в тех же самых местообитаниях на соседней территории, которая вроде бы ничем не отличается.

рых сообщается в произведении... Фабule противостоит сюжет: те же события, но в их изложении, в том порядке, в каком они сообщены в произведении, в той связи, в какой даны в произведении сообщения о них^{xxx}. Замечательно, что в других источниках определения фавулы и сюжета могут быть прямо противоположны, однако саму необходимость разведения этих понятий понимают все, занимающиеся литературоведением и близкими дисциплинами.

Ситуация, когда общий смысл какой-то теории в процесс развития изменился настолько, что необходимо деление старых понятий и/или введение новых для отражения изменившейся научной мысли вообще довольно обычна (мы ещё будем обсуждать это в главе 25). Но научное сообщество консервативно и сопротивляется этому до последнего, пытаюсь вложить новый смысл в прежние понятия и незаметно использовать в анализе новые категории (именуя их, однако, по-старому). Как это происходит, красиво показал А.А.Любичев в работе «О постулатах современного селектогенеза»^{xxxi}.

В логике выделяют и другие виды определений.

Глава 17.

Пересечение и объединение в силлогистике. Расширенная силлогистика.

Мы уже сталкивались с пересечением понятий (и соответствующих им множеств¹), когда говорили о возможности определения понятий за счёт комбинации отличительных признаков.

Осмысленное (а не произвольное, как в случае с насекомыми и птицами) объединение понятий² тоже встречается достаточно часто, например в том случае, когда в рамках таксона одна структура дала начало другой (или другим). Пример: “У млекопитающих имеются млечные

¹ Обозначается в математической логике как \cap .

² Объединение соответствующих множеств обозначается в математической логике как \cup .

поля (как у однопроходных) **или** млечные железы (как у всех остальных)”. В данном случае эти структуры не встречаются одновременно, то есть **или** является исключительным. Однако возможны и случаи, допускающие такое сочетание, например: “Смыслом египетского иероглифа, изображающего ласточку, могло быть слово “ласточка” и слово “большой”^{xxxii} (оба варианта могли встречаться в одном тексте).¹

С отрицанием понятий мы тоже уже сталкивались, когда говорили о понятиях, находящихся в отношении противоречия (“разумный” - “неразумный”, “летающий” - “нелетающий” и так далее).²

Для того, чтобы понять, как соотносятся операции пересечения, объединения и отрицания понятий с аристотелевой силлогистикой, можно дополнить набор её аксиом следующими вполне интуитивно достоверными, аксиомами, не противоречащими уже введённым:

1. **Если всякое S есть P, то никакое S не есть не P.**

Пример: “Если все виды колибри летают, то никакой вид колибри не является нелетающим”. (Обозначается как $ASP \supset ESP'$.)

И наоборот – **если никакое S не есть не P, то всякое S есть P**, но при соблюдении обычно молчаливо принимаемого **закона тождества (всякое S есть S)**. Пример: “Если никакой вид колибри не является нелетающим, то все виды колибри летают”. (Обозначается как $ESP' \supset ASP$, более точно – вывод делается с учётом закона тождества $ASS \& ESP' \supset ASP$.)

¹ В слове “большой” была аналогичная последовательность согласных, поэтому оно и передавалось этим рисунком. Таким образом, в египетской письменности одной эпохи сочеталось рисуночное письмо и письмо звуковыми знаками.

² Множество, которое соответствует понятию, находящемуся с исходным (S) в отношении противоречия, обозначается в математической логике как S'.

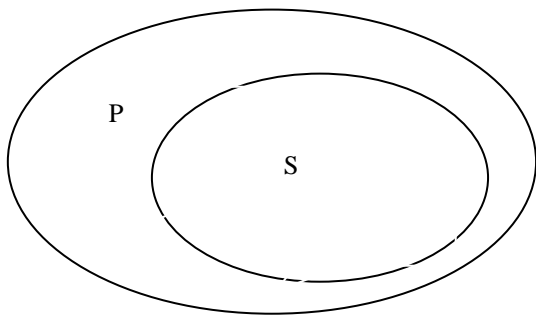


Рис.10

2. **Если никакое S и P не есть M, то никакое M и S не есть P.** Пример: “Если никакие умные и честные люди не выскажут данного суждения, то никакие люди, которые высказывают данное суждение и умны, не являются честными”. (Обозначается как $E(S \cap P)M \supset E(M \cap S)P$.)

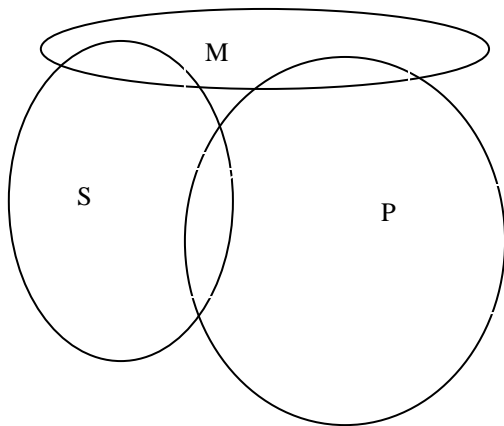


Рис.11

3. **Если никакое M не есть S или P, то никакое M не есть S и никакое M не есть P.** Пример: “Если никакие рыбы не являются размножающимися на суше или теплокровными, то никакие рыбы не являются размножающимися на суше и никакие рыбы не являются теплокровными”.

И наоборот – если никакое M не есть S и никакое M не есть P, то никакое M не есть S или P. .Пример: “Если никакие рыбы не размножаются на суше и никакие рыбы не являются теплокровными, то никакие рыбы не являются размножающимися на суше или теплокровными”.

(Обозначается как $EM(S \cup P) \equiv EMS \& EMP.$)

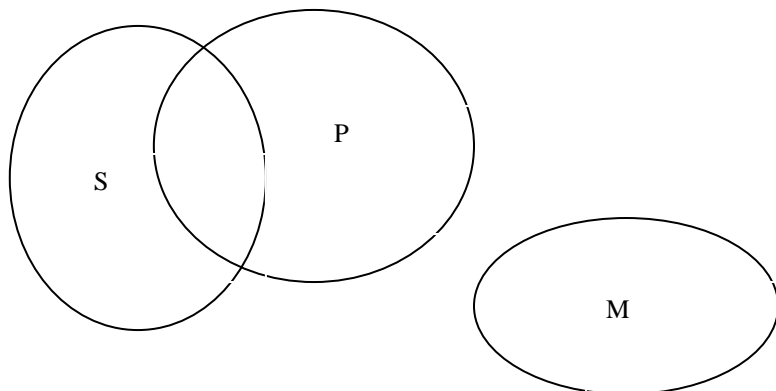


Рис12.

4. **Если никакое M не есть не (S и P), то никакое M не есть не S и никакое M не есть не P.** Пример: “Если никакие хорошие учителя не бывают лишёнными разума и чуткости, то никакие хорошие учителя не бывают неразумными и никакие хорошие учителя не бывают нечуткими”.

И наоборот – если никакое M не есть не S и никакое M не есть не P, то никакое M не есть не (S и P). Пример: “Если никакие хорошие учителя не бывают неразумными и никакие хорошие учителя не бывают нечуткими, то никакие хорошие учителя не бывают лишёнными разума и чуткости”.

(Обозначается как $EM(S \cap P) \equiv EMS' \& EMP'$.)

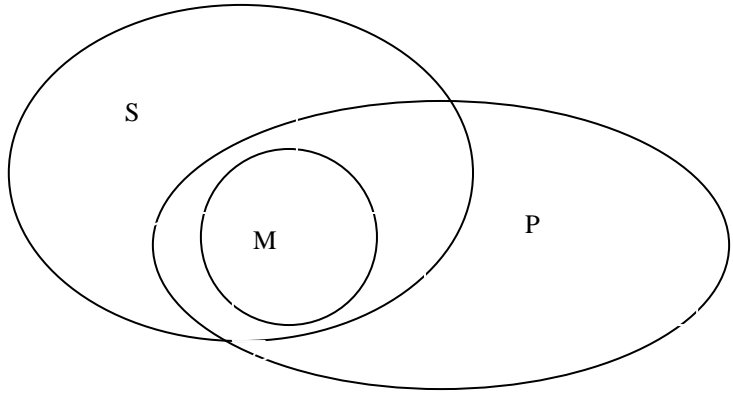


Рис.13.

В рамках этой системы аксиом можно расширить набор доказуемых утверждений.

Упражнение 1. Если животное живёт в толще воды и постоянно активно движется (а не просто совершает периодические “прыжки”, как дафния), то оно не может иметь частей тела, снижающих обтекаемость. Вытащенное тралом из толщи воды животное имеет выросты, снижающие обтекаемость. Что вы можете предположить о его образе жизни?

.

Глава 18. Булева алгебра

Аксиомы булевой алгебры (алгебры множеств) эквивалентны расширенной силлогистике^{xxxiii}, то есть если мы принимаем аксиомы расширенной силлогистики, мы должны принять и аксиомы булевой алгебры и наоборот. Это и неудивительно – ведь и классическая

силлогистика, и булева алгебра говорят на языке объёмов (а не содержания) понятий, то есть на языке множеств и их отношений. Просто классическая силлогистика воспринимается более естественно за счёт того, что из неё изгнаны пустые множества. Кроме того, в силлогистике говорится об отдельных элементах различных множеств (всех или некоторых), а не о самих множествах, как в булевой алгебре. Замечательно, что классической силлогистикой в средние века владели практически все образованные люди, применяя её, например, во время диспутов, а эквивалентная ей алгебра множеств многими современными образованными людьми воспринимается как китайская грамота. Дело, видимо, в том, что первая пользуется обычным языком, и рассуждающего «вывозят» естественные грамматические конструкции (и содержащиеся в них «коллективные» представления о связях и категориях). Вторая же использует язык математических символов, работа с которыми требует специально выработанного навыка.

Булева алгебра пользуется понятиями *включения* (аналог в аристотелевой силлогистике – “все S есть M”, обозначается как $S \subseteq M$), *пересечения*, *объединения* и *дополнения (отрицания)* - обозначаются как в предыдущей главе. Дополнением множества является множество, состоящее из объектов, принадлежащих к той же предметной области, но не принадлежащих к исходному множеству. Иначе говоря, соответствующие этим множествам понятия находятся в отношении противоречия.

Вот аксиомы булевой алгебры:

1. Множество S включено во множество S. (Символически записывается как $S \subseteq S$)

2. Если множество S включено во множество M и множество M включено во множество P , то множество S включено во множество P . ($S \subseteq M \& M \subseteq P \supset S \subseteq P$)
3. Если множество M включено во множество S и множество M включено во множество P , то множество M включено в пересечение множеств S и P . Наоборот, если множество M включено в пересечение множеств S и P , то множество M включено во множество S и множество M включено во множество P . ($M \subseteq S \& M \subseteq P \equiv M \subseteq S \cap P$)
4. Если множество S включено во множество M и множество P включено во множество M , то объединение множеств S и P включено во множество M . И наоборот, если объединение множеств S и P включено во множество M , то множество S включено во множество M и множество P включено во множество M . ($S \subseteq M \& P \subseteq M \equiv S \cup P \subseteq M$).
5. Пересечение множества S с объединением множеств M и P включено в объединение пересечений множества S с множеством P и множества S с множеством M . ($S \cap (P \cup M) \subseteq (S \cap P) \cup (S \cap M)$)
6. Дополнение к дополнению множества P включено во множество P . ($P'' \subseteq P$)
7. Если множество S включено в дополнение к множеству P , то множество P включено в дополнение ко множеству S . ($S \subseteq P' \supset P \subseteq S'$)
8. Пересечение множества P со своим дополнением (т.е. пустое множество) включено в любое произвольное множество S . ($P \cap P' \subseteq S$)
9. Дополнение к пересечению множеств S и P включено в объединение дополнений ко множествам S и P . ($(S \cap P)' \subseteq S' \cup P'$).

Упражнение 1. Изобразите на диаграммах утверждение каждой из аксиом (кроме восьмой). Убедитесь в их интуитивном правдоподобии.

Условимся, что $S = P^1$, если $S \subseteq P$ и $P \subseteq S^1$. Из первой аксиомы с очевидностью следует, что $S = S$. Это закон тождества.

¹ Читается S эквивалентно P .

Из первой и седьмой аксиом следует также, что поскольку $S' \subseteq S'$, то $S \subseteq S''$. Поскольку $S'' \subseteq S$, то $S'' = S$. Это закон двойного отрицания.

Пустое множество (\emptyset) в аксиоме 8 вводится с использованием закона противоречия - $S \cap S' = \emptyset$.

Встаёт вопрос, будут ли эквивалентны два пустых множества $S \cap S'$ и $P \cap P'$. В соответствии с восьмой аксиомой

$(P \cap P') \subseteq S \& (P \cap P') \subseteq S'$, что в соответствии с третьей аксиомой эквивалентно

$(P \cap P') \subseteq (S \cap S')$.

Аналогично можно показать, что

$(S \cap S') \subseteq (P \cap P')$.

Таким образом, как бы ни были определены пустые множества, все они эквивалентны друг другу.²

Множество, соответствующее предметной области (U)³, можно ввести, используя закон исключённого третьего – $U = S \cup S'$ ⁴. Довольно легко доказать, что $U = \emptyset'$ (то есть $U \subseteq \emptyset'$ и $\emptyset' \subseteq U$). Понятно, что U тоже определяется таким образом однозначно.

И наоборот, $U' = \emptyset$.

¹ Эта идея звучит довольно очевидно на языке элементов. Если каждый элемент множества S принадлежит множеству P , а каждый элемент множества P принадлежит множеству S , то множества S и P , очевидно, совпадают.

² Именно пустое множество пытался определить герой известной сказки, который требовал, чтобы героиня приехала «ни нагая, ни одетая; ни пешком, ни на лошади». Ошибка героя состояла в том, что он задал отношения противоположности, а не противоречия, в чём и убедился, когда героиня приехала верхом на зайце, завернувшись в рыбацкую сеть.

³ Его ещё называют универсальным множеством.

⁴ История уже про закон исключённого третьего:

- Поздравляем, родился здоровый ребёнок.
- Мальчик?
- Нет.
- А кто?

Поскольку у человека пол определяется социальной ролью, то даже в случае наличия медицинских проблем родители и сам человек неизбежно должны будут выбрать какой-то из двух полов.

Из принятой системы аксиом следует также ряд других законов алгебры множеств, пользоваться которыми при выводе формул удобнее, чем исходными аксиомами.

Закон идемпотентности (равносильности): $S \cap S = S$;
 $S \cup S = S$.

Коммутативный закон: $S \cap P = P \cap S$, $S \cup P = P \cup S$.

Ассоциативный закон: $(S \cap P) \cap M = S \cap (P \cap M) = S \cap P \cap M$;
 $(S \cup P) \cup M = S \cup (P \cup M) = S \cup P \cup M$.

Пользуясь этими законами довольно легко получить следующие правила обращения с пустым и универсальным множествами (можете попробовать сделать это сами):

$$S \cap \emptyset = \emptyset;$$

$$S \cup \emptyset = S;$$

$$S \cap U = S;$$

$$S \cup U = U.$$

Дистрибутивный закон: $S \cap (P \cup M) = (S \cap P) \cup (S \cap M)$;
 $S \cup (P \cap M) = (S \cup P) \cap (S \cup M)$.

Проницательный читатель уже вспомнил, где он встречался с коммутативностью, ассоциативностью и дистрибутивностью – конечно же, в обычной алгебре, для операций сложения и умножения. В известном смысле, объединение и пересечение и ведут себя как логические сложение и умножение, однако аналогия неполная – второй дистрибутивный закон в обычной алгебре был бы неверен.

Закон поглощения: $S \cap (S \cup P) = S$;

$$S \cup (S \cap P) = S.$$

Закон де Моргана: $(S \cap P)' = S' \cup P'$; $(S \cup P)' = S' \cap P'$.

Упражнение 2. Изобразите с помощью диаграмм со штриховкой или выделением цветом дистрибутивный

закон и закон де Моргана. Для булевой алгебры такие диаграммы носят название диаграмм Эйлера-Венна.

Задача 1. Исследователь изучал питание ворон. Разобрав 183 вороньих погадки¹, в 3-х он не смог идентифицировать никаких остатков, в 40 погадках были только хитиновые покровы насекомых, в 38 погадках – только шерсть и кости мелких млекопитающих, в 61 погадке – только чешуи злаков. В 4 погадках встречались только чешуи злаков и хитиновые покровы насекомых, в 6 погадках – только чешуи злаков и шерсть и кости мелких млекопитающих. В 2-х погадках встречались все три типа остатков.

Исследователь выдвинул гипотезу, что когда ворона питается животной пищей, она избегает питания растительной. Для проверки гипотезы ему надо сравнить долю погадок с чешуями злаков среди всех погадок и долю погадок с чешуями злаков среди погадок с остатками животной пищи.

А) Изобразите с помощью диаграммы соотношение между множествами погадок с каждым из типов остатков.

Б) Обозначим множество погадок с хитиновыми покровами насекомых через S , множество погадок с шерстью и костями млекопитающих – через P . Пользуясь законами алгебры множеств, докажите, что объединение этих множеств, то есть множество погадок с остатками животных представляет собой объединение множества погадок с остатками насекомых, но без остатков млекопитающих, множества погадок с тем и другим и множества погадок без остатков насекомых, но с остатками млекопитающих. Иначе говоря,

¹ Погадки – непереваренные остатки (шерсть и косточки грызунов, хитин насекомых и пр.), которые птица отрыгивает через некоторое время после еды.

$$S \cup P = (S \cap P') \cup (S \cap P) \cup (S' \cap P)^1$$

Докажите, что каждое из этих трёх множеств ($S \cap P'$; $S \cap P$ и $S' \cap P$) не пересекается с двумя другими², то есть найти объём множества погадок с остатками животных можно, сложив объёмы этих трёх множеств.

В) В каком количестве погадок встречаются как остатки насекомых, так и остатки злаков? В каком количестве погадок встречаются как остатки млекопитающих, так и остатки злаков? Можно ли вычислить количество погадок с остатками как животных, так и растений, сложив эти два числа?

Г) Вычислите доли, которые должен сравнить исследователь.

Вопрос 1. Из доклада: «Согласно нашему хронометражу, в течение получаса птица затратила 17 мин – на демонстрации, 14 мин – на агрессивные выпады в сторону противника и 6 – на затаивание и др. формы оборонительного поведения». Возможно ли такое? Если возможно, то какой вывод из этого отрывка Вы можете сделать?

Вопрос 2. Из любых двух студентов второго курса по крайней мере один считает себя будущим крупным учёным. Каково минимальное число студентов второго курса, считающих себя будущими крупными учёными, если всего на втором курсе 206 студентов?

¹ Рекомендуем Вам доказывать это равенство, преобразовывая его правую часть.

² Иначе говоря, что их пересечение равно пустому множеству.

Вопрос 3. Вам нужно найти в Интернете сведения об особенностях узнавания родственников у млекопитающих и птиц, для которых нехарактерна колониальность, Обозначим множество текстов, в которых встречается словосочетание «узнавание родственников» как «*узнавание родственников*», аналогичным образом прочие множества текстов обозначим как «*млекопитающие*», «*птицы*», «*колония*». Используя обозначения алгебры множеств, запишите несколькими способами искомое для Вас множество текстов.¹

Глава 19. Алгебра высказываний

Как мы уже говорили, содержание **высказывания** можно независимо от ситуации оценить как истинное или ложное. **Алгебра высказываний** позволяет, зная значение простых высказываний (истина или ложь), определить значение составленных из них при помощи связок ("и", "или", "неверно, что...", "если..., то...") сложных высказываний.

Алгебра высказываний оказалась исключительно полезной, когда началась разработка вычислительных машин. Основания для её использования лаконично описал Н.Винер^{xxxiv}: «В идеальную вычислительную машину все данные надо вводить сразу же в начале работы, и затем до самого конца она должна по возможности быть свободна от человеческого вмешательства. Это значит, что машина должна получить в

¹ Возможности такого поиска ограничены, например, тем, что не в каждом тексте про колониальных животных будет встречаться слово «колонии», хотя если описывается определённый вид млекопитающих или птиц, названия соответствующих классов, видимо, всё-таки будут упомянуты. Тем более не стоит вместо «млекопитающие» и «птицы» искать на «теплокровные».

начале работы не только все числовые данные, но и все правила их соединения, в виде инструкций на любую ситуацию, которая может возникнуть в ходе вычислений. Следовательно, вычислительной машине надо быть не только арифметической, но и логической машиной и комбинировать возможности согласно систематическому алгоритму ... простейший из них известен как булева алгебра. Этот алгоритм ...основан на дихотомии, то есть на выборе между «да» и «нет», между пребыванием в классе и вне класса.»

По этой причине любые компьютеры содержат блоки, осуществляющие логические операции пересечения, объединения и т.п.

Языки программирования тоже содержат символы пересечения (конъюнкции)¹, объединения (дизъюнкции)², отрицания³, следования (импликации)⁴ высказываний.

Но почему Винер говорит о булевой алгебре, а не об алгебре высказываний? Мы можем установить соответствие между операциями алгебры множеств и алгебры высказываний. Так, пересечению множеств ($S \cap P$) соответствует конъюнкция высказываний ($A \wedge B$), при которой сложное высказывание верно в том случае, если верны оба входящих в него простых. Объединению множеств ($S \cup P$) соответствует дизъюнкция высказываний ($A \vee B$), при которой сложное высказывание верно в том случае, если верно хотя бы одно из входящих в него простых. Дополнению множества S' соответствует отрицание высказывания

¹ Обозначается как \wedge .

² Обозначается как \vee .

³ Обозначается как \sim .

⁴ Обозначается как \Rightarrow

$\sim A$, которое верно в том случае, если неверно высказывание A . Импликация была определена в главе «Логическое следование высказываний». Как мы помним, согласно этому определению

$A \Rightarrow B \equiv \sim A \vee B$. Поэтому если A истинно, и $A \Rightarrow B$ истинно, то истинно и B , что вполне совпадает с нашим здравым смыслом. Если B ложно и $A \Rightarrow B$ истинно, то A ложно.

Оказывается, если преобразовать сложное высказывание по законам булевой алгебры, с которыми мы познакомились в предыдущей главе, то истинное высказывание останется истинным, а ложное – ложным, то есть значение высказывания не изменится.

Разберёмся в том, почему это так. Пусть мы не знаем, какие из высказываний являются истинными, и рассматриваем в качестве универсального множества множество всех логических возможностей (например, A – истинно, B – ложно, C – ложно или A – ложно, B – истинно, C – ложно). Конъюнкции высказываний A и B соответствует пересечение множества возможностей, при которых истинно высказывание A со множеством возможностей, при которых истинно высказывание B . Дизъюнкции – объединение этих множеств. Отрицанию высказывания – дополнение соответствующего множества. Как бы мы не преобразовывали сложное высказывание, ему будет соответствовать одно и то же множество.

Поэтому, например, в силу дистрибутивного закона $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ (Заявление у меня примут если его подпишет заведующий кафедрой и декан или заместитель декана. Это эквивалентно тому, что заявление подпишет заведующий кафедрой и декан или заведующий кафедрой и заместитель декана.)

Вопрос 1.

А «При удалении одного лёгкого человек не погибает от недостатка кислорода (даже в первые дни после операции, пока ещё слабо развиты компенсаторные механизмы).»

В «Для гибели от недостатка кислорода его поступление должно уменьшиться более чем вдвое.»

С «Покрытие кожи человека непроницаемой плёнкой ведёт к гибели от недостатка кислорода.»

Какое из этих высказываний является следствием другого высказывания? Истинность какого из высказываний представляется Вам сомнительной? Запишите высказывание D, которое следует из высказываний В и С. Запишите отношения между высказываниями А, В, С и D с помощью символов алгебры высказываний.

Для алгебры высказываний тоже возможно использование диаграмм Венна. Навык работы с диаграммами Венна необходим, например, для умения оценивать байесовские (условные) вероятности (пример «вероятность события А при условии, что произошло событие В» (записывается $P(A/B)$), «вероятность события В при условии, что произошло событие А» ($P(B/A)$), «вероятность события А при условии, что не произошло событие В» ($P(A/\sim B)$). Байесовские вероятности используются в разных разделах биологии, например, в генетике при оценке вероятности наследования различных заболеваний.^{xxxv}

Рассмотрим случай заболевания ретинобластомой¹. Она может быть связанной с доминантной мутацией (и тогда наследуется как доминантное заболевание с неполным проявлением) или возникать за счёт мутаций в соматических клетках). Консультируемый, который в детстве был прооперирован на один глаз по причине ретинобластомы (родственники здоровы), с вероятностью 0,9 заболел за счёт мутаций в соматических клетках (событие А), с вероятностью 0,1 – за счёт мутации в гамете кого-то из родителей (событие А₁). В первом случае вероятность заболевания его ребёнка (собы-

¹ Это опухоль сетчатки, которая развивается в детском возрасте..

тие B_1) близка к 0, во втором – 0,45 (не 0,5 за счёт неполного проявления). Если ребёнок здоров, будем рассматривать это как событие B . Нарисуем соответствующую диаграмму:

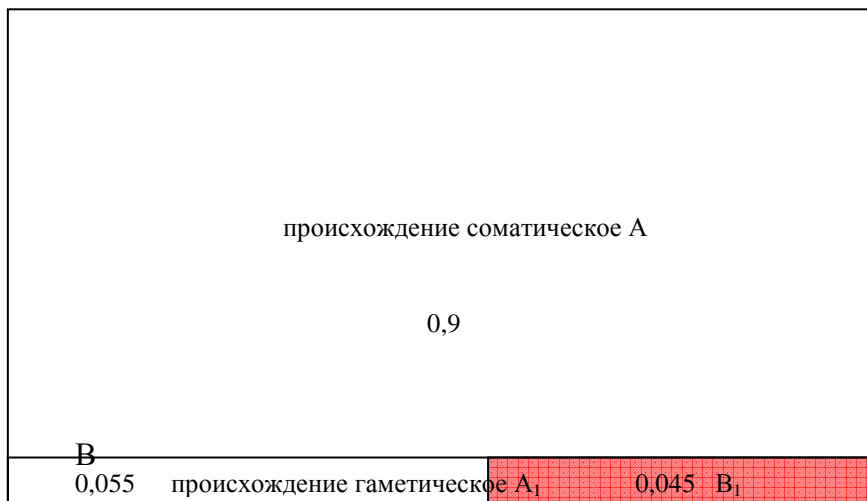


Рис.14.

Консультируемому, естественно, важно знать вероятность заболевания своего ребёнка.¹ Она равна $0,1 \times 0,45 = 0,045$, а вероятность того, что он будет здоров – 0,955. Но пусть у него уже есть один здоровый ребёнок. Насколько это улучшает прогноз?

Для начала рассмотрим, как вычислить вероятность того, что у консультируемого мутация соматическая. Мы знаем вероятность того, что при соматической мутации ребёнок будет здоров – она равна 1. Но как оценить вероятность того, что при наличии здорового ребёнка мутация соматическая? Если бы мы ничего не знали о потомке консультируемого, то вероятность (априорная) того, что мутация соматическая и ребёнок здоров может быть вычислена или как произведение вероятности того, что ребёнок здоров и вероятности того, что мутация соматическая при усло-

¹ Поскольку мутация возникла вновь, отличить мутантный вариант с помощью использования соответствующих генетических зондов проблематично. Кроме того, сходные методы расчётов часто используются и при применении, например, генетических маркеров, сцепленных с аномальным аллелем.

вии, что ребёнок здоров. Другой способ – вычислить эту же вероятность как произведение вероятности того, что мутация соматическая и вероятности того, что ребёнок здоров при условии, что мутация соматическая. Иначе говоря,

$$P(A \wedge B) = P(A) \times P(B/A) = P(B) \times P(A/B).$$

Таким образом,

$$P(A/B) = (P(A) \times P(B/A)) / P(B).$$

Итак, вероятность того, что данный консультируемый имеет заболевание, связанное с соматической мутацией уже не 0,9, а $0,9 \times 1/0,955$ – примерно 0,94. Казалось бы, изменение небольшое. Однако вероятность того, что его болезнь – наследственная, изменилась почти вдвое!

Упражнение 1. Оцените самостоятельно, как изменилась оценка риска для второго ребёнка.

Определить вероятность того, что заболевание консультируемого связано с соматической мутацией можно было просто с использованием диаграммы Венна и подсчётом соотношения площадей – оно равно $0,9 / (0,9 + 0,055)$. Тем не менее, выведенная нами формула для подсчёта условной вероятности ценна тем, что она верна для общего случая, в том числе такого, когда $P(B/A) \neq 1$. Если мы не знаем $P(B)$, то можем записать ту же формулу как:

$$P(A/B) = (P(A) \times P(B/A)) / (P(A) \times P(B/A) + P(A_1) \times P(B/A_1))$$

Задача 1. Пусть однояйцевые близнецы рождаются с частотой 0,4, а разнаяйцевые с частотой 0,6. Конкретная пара – близнецы одного пола. Какова вероятность того, что они однояйцевые?

Неосознанный пересчёт вероятностей, который мы все осуществляем, получая новую информацию^{xxxvi}, лежит в основе одной из самых частых логических ошибок. Рассмотрим «силлогизм»

«У всех массажисток сильные пальцы.

У N сильные пальцы.

Следовательно, N – массажистка».

Сильные пальцы могут быть, например, у пианистки. Однако если мы заметили, что у N сильные пальцы, то вероятность того,

что она массажистка, действительно выше, чем для случайно выбранной женщины.

Глава 20.

Приложения алгебры высказываний в технике и биологии.

Ещё до того, как принципы алгебры высказываний были применены к электронным схемам, они применялись к их менее совершенным предшественникам – электрическим схемам, содержащим контакты (реле)^{xxxvii}. Уже релейные схемы должны были срабатывать (например, при управлении техникой) независимо от человека. Состояние «реле А замкнуто, ток может протекать» можно было считать эквивалентным состоянию «высказывание А истинно». Состояние «цепь замкнута, исполнительный механизм срабатывает» можно было считать эквивалентным ситуации «сложное высказывание истинно». Состояние «цепь разомкнута» - эквивалентным ситуации «сложное высказывание ложно». Часть таких реле замыкалась и размыкалась одновременно, что было аналогично наличию А в нескольких местах сложной формулы. Часть реле замыкалась и размыкалась в противофазе, что было аналогично вхождению в формулу А и $\sim A$. Простейшая схема рис. соответствует формуле $A \wedge B$, простейшая схема рис. – формуле $A \vee B$. Изобразим для наглядности две схемы, которые должны быть эквивалентны по своему действию в силу дистрибутивного закона - $A \wedge (B \vee C)$ (рис.15) и $(A \wedge B) \vee (A \wedge C)$ (рис.16).

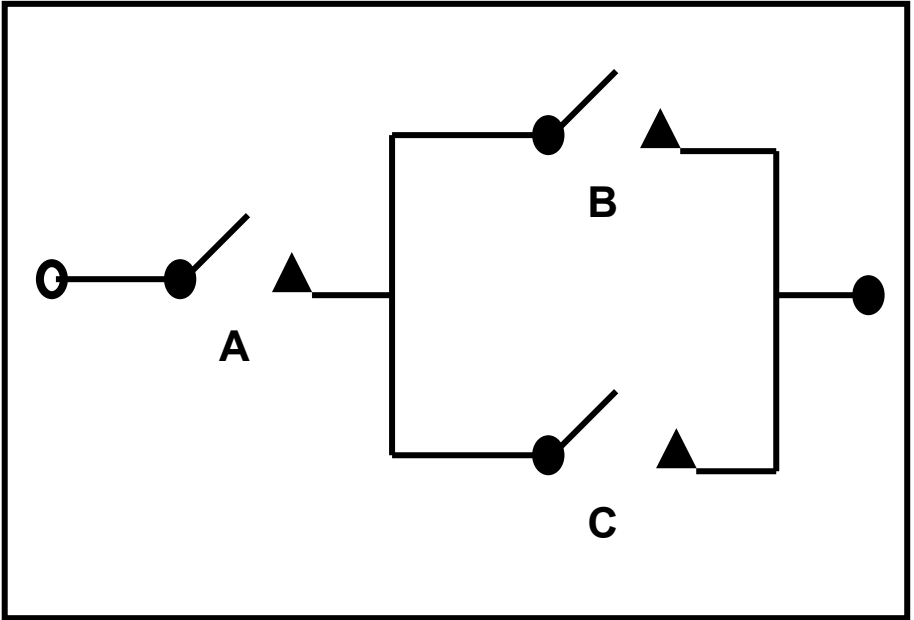


Рис.15

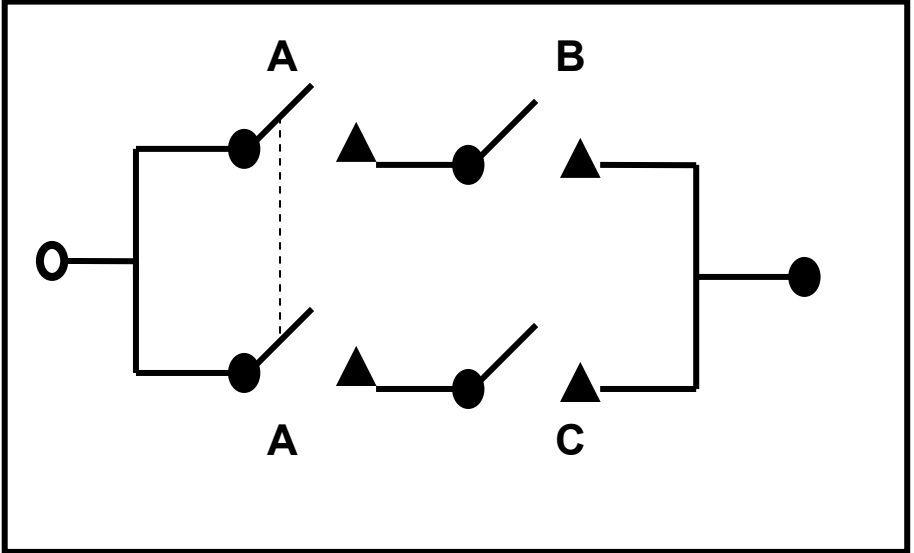


Рис.16

С помощью таблицы можно убедиться, что при любом расположении контактов обе схемы срабатывают одинаково (обозначим 1 – ток проходит, 0 – ток не проходит).

| A | B | C | Вся схема |
|---|---|---|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |

За счёт использования алгебры высказываний такие схемы можно было значительно упрощать, а для любого механического устройства большая простота – это ещё и большая надёжность.

В дальнейшем электроника победила механику, и уже наработанные принципы были использованы для оптимизации электронных схем. Они тоже содержат элементы И, ИЛИ, НЕ (см. рис.17-19), а также элементы, выполняющие более сложные логически операции.

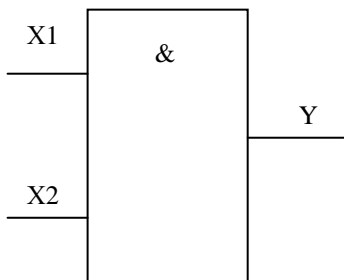


Рис.17. Элемент «И»

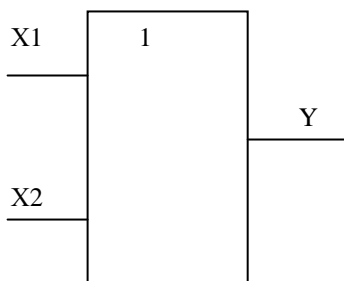


Рис.18. Элемент «ИЛИ»

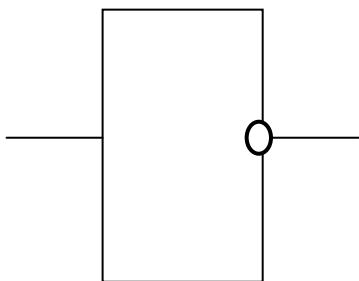


Рис.19. Элемент «НЕ»

Работа их обычно является потактовой – отдельные импульсы следуют через определённые промежутки времени, поэтому в соответствующие схемы может быть включён, например, счётчик импульсов.

Вопрос 1.

Используя элементы И, ИЛИ и НЕ, составьте электронную схему, которая выдавала бы сигнал на выходе лишь в том случае, когда сигнал подан только на один из двух входов.¹

Практически аналогично выглядит приложение алгебры высказываний не к электротехническим схемам, а к упрощённым моделям так называемых нейронных сетей, которые показывают, как образующие определённую структуру нервные клетки могут требуемым

¹ Если Вы затрудняетесь при выполнении этого задания, попробуйте сначала написать логическую формулу.

образом отвечать на определённое воздействие или комбинацию воздействий.^{xxxviii}

Основания таких упрощённых моделей можно изложить в немногих предложениях. Нервные клетки (нейроны) способны по отростку – аксону – передавать сигнал к другим нервным клеткам и иным клеткам организма (например, мышечным). В зависимости от типа синапса (специализированного контакта) между клетками этот сигнал может возбуждать активность нервной клетки-получателя или тормозить её. Обычно нейрон даже на разных клетках образует синапсы лишь одного типа. Нервная клетка-получатель возбуждается и начнёт сама передавать сигнал в том случае, если сумма воздействий всех возбуждающих и тормозных связей (синапсов) на нейрон больше или равна его порогу. «На входе» нейронных сетей обычно располагаются нервные клетки, которые возбуждаются под действием сигналов из окружающей среды. «На выходе» - клетки, действующие на исполнительные механизмы, т.е. мышцы или железы. Нередко в сеть входят так называемые спонтанно-активные нейроны, которые всё время возбуждаются сами по себе, без всякого воздействия извне.

Будем обозначать возбуждающий синапс как на рис.20, тормозной – как на рис.21.

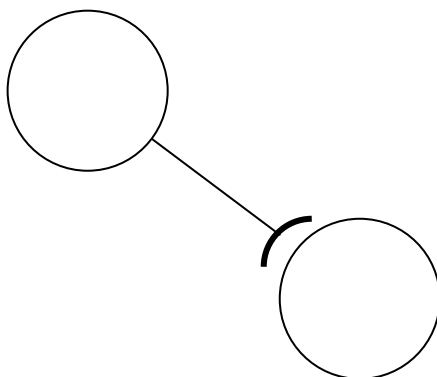


Рис.20.

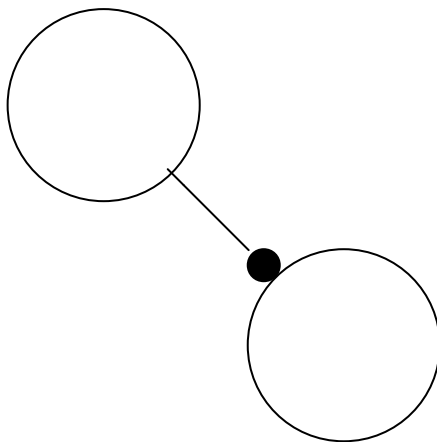


Рис.21.

Цифры внутри нейрона будут обозначать порог, а внутри спонтанно-активного нейрона будем писать порог, равный 0.

Упражнение 1.

Каким должен быть порог нейрона С, чтобы он возбуждался в том случае, если сигнал на него придёт с нейрона А **или** с нейрона В? Каким должен быть порог нейрона С, чтобы он возбуждался в том случае, если сигнал на него придёт с нейрона А **и** с нейрона В?

Упражнение 2.

Придумайте нейронную сеть, которая преобразует тормозной сигнал в возбуждающий.

Как мы видим, нейронные сети тоже способны реализовывать функции «и», «или» и «не». Собственно, теория формальных нейронов началась в 1943 году с работ Мак-Каллока и Питтса, которые занимались как биологией, так и теорией автоматов. Они показали, что любой логической формуле соответствует некоторая нейронная сеть, и любая нейронная сеть может быть описана логической формулой. Тожественные преобразования этой формулы соответствуют разным нейронным сетям с одинаковым поведением.

Задача 1.

Напишите формулы, соответствующие нейронным сетям на рис.22 и рис.23¹ Их преобразованием получите формулы, соответствующие нейронным сетям, в которой на каждом нейроне оканчивается не более двух синапсов. Нарисуйте эти сети.

¹ Проще всего написать эти формулы, описывая с помощью алгебры высказываний все ситуации, в которых нейрон «на выходе» срабатывает.

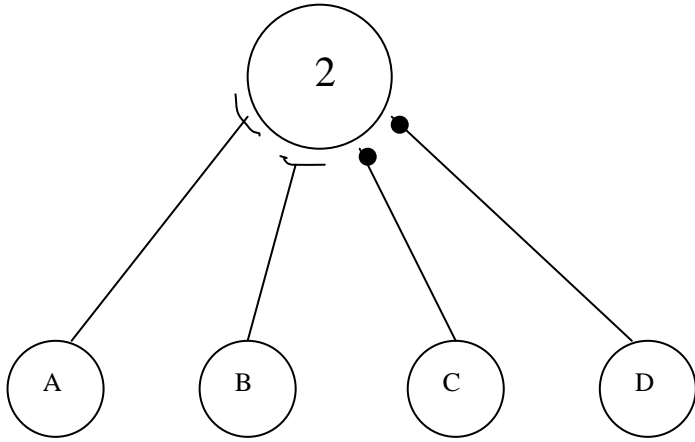


Рис.22.

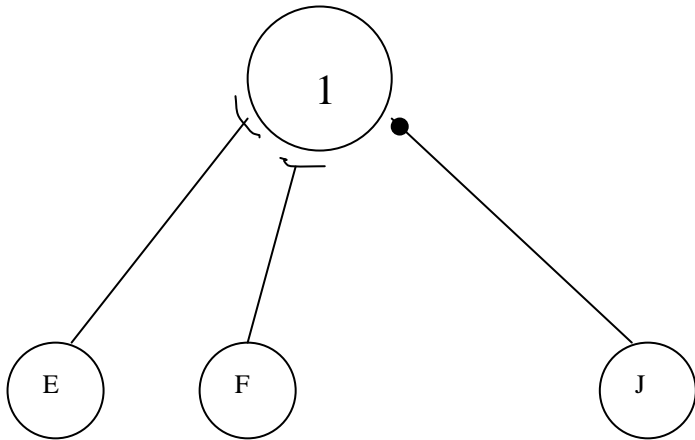


Рис.23.

Реальный нейрон как правило работает потактово, поскольку, выдав импульс, он какое-то время не может генерировать новый. Это похоже на потактовую работу компьютерных схем. Кроме того, работа нейронной сети является потактовой и в ином смысле - время проведения сигнала затрачивается главным образом на передачу нервного импульса через синапс, и, таким образом, пропорционально числу синапсов на его пути. Сети из Задачи 1 отличаются друг от друга числом тактов, через которые они срабатывают. Можно научиться рисовать сети, в которых учитывается время срабатывания. Можно научиться рисовать сети, «читающие» число тактов, прошедших с того момента, как пришёл сигнал.

В дальнейшем появились и более сложные модели, описывающие поведение нейронных сетей более реалистично. Можно учитывать естественное для «живых» нейронов колебание порогов. Можно включать в сеть нейроны с более сложными характеристиками, например, способные выдавать ответ варьирующей интенсивности (а не просто отвечать по принципу «да-нет»).

Тем не менее, реальные нейронные сети даже у беспозвоночных, у которых нейронов действительно мало¹, конструктивно обычно сложнее формальных схем. Однако все эти схемы помогают понять, что возможно в мире нейронных сетей.

Давайте рассмотрим устройство нейронной сети, обеспечивающей плавание пиявки. Соответствующая ей схема действительно сначала была придумана В.Л.Дуниным-Барковским и лишь затем найдена у реального животного.

¹ В сетях нервной системы позвоночных используются десятки тысяч нейронов.

Тело пиявки при плавании волнообразно изгибается за счёт того, что в каждом сегменте её тела поочередно сокращаются то спинные, то брюшные мышцы. Проще всего обеспечить такое сокращение, если от четырёх нейронов будут идти импульсы к разным группам мышц. Движения будут регулярными в том случае, если импульсы будут идти попеременно – например, сначала от первого нейрона, потом от второго, потом от третьего, потом от четвёртого. Важно добиться того, чтобы любые два нейрона не могли работать одновременно (что приводит к судорогам), поэтому главную роль в такой схеме будут играть тормозные синапсы (отсюда её название «тормозное кольцо»). Возбуждение на все нейроны сети идёт от командного мотонейрона. Предположим, что по случайным причинам первым возбудился нейрон №1. После него «имеет право» работать только нейрон №2. Пишем логическую формулу: «если сработал нейрон №1, то на следующем такте не может работать нейрон №3 и не может работать нейрон №4». Аналогично, «если сработал нейрон №2, то на следующем такте не может работать нейрон №1 и не может работать нейрон №4», «если сработал нейрон №3, то на следующем такте не может работать нейрон №2 и не может работать нейрон №1», «если сработал нейрон №4, то на следующем такте не может работать нейрон №2 и не может работать нейрон №3». Предыдущий сработавший нейрон при возбуждении следующего, естественно, тормозится.

Вопрос 2. Нарисуйте сеть из четырёх нейронов, которая описывается этими условиями.

Нейроны этого кольца образуют тормозные синапсы, однако на мышцы от них должен приходиться возбуждающий сигнал. Разберитесь сами, как такое возможно.

Аналогия между формальными и реальными нейронными сетями оказалась полезной ещё в одном плане. Известно, что реальные нейронные сети могут обучаться, например, по-другому реагировать на уже знакомый стимул или выделять его из общей массы незнакомых. Вполне понятно, что учёным захотелось промоделировать и это. «Обучение» сети можно моделировать, например, за счёт изменения порога нейрона, через который прошли сигналы, или «отрастания» лишнего синапса.

Непростая задача – как обучать сложную нейронную сеть (скажем, состоящую из нескольких слоёв нейронов), чтобы обученная работала лучше необученной, а обучавшаяся много раз работала заметно лучше (а не просто слегка улучшала показатели)¹. Для того, чтобы сеть не «застревала» на каком-то относительно удачном варианте, нередко имеет смысл включать в программу поиска шаги, которые сами по себе качества работы не улучшают, но позволяют «сдвинуться с места».

Понятно также, что нейронные сети изменяются при развитии организмов и вместе с ними эволюционируют при их эволюции. Образуются связи между новыми парами нейронов, появляются и исчезают новые нейроны. Этот процесс тоже можно промоделировать, задав правила случайного появления нового и «оценки» качества работы нейронной сети, в соот-

¹ И не начинала учитывать мелкие и несущественные детали, как тоже иногда бывает при слишком долгом обучении.

ветствие с которой следует перейти к новому варианту или оставить старый (и для того, чтобы работать лучше, и для того, чтобы не «застрывать»). Применяются иногда и такие приёмы, как «скрещивание» наиболее удачных вариантов. За определённое число шагов сеть может сильно измениться и значительно усовершенствовать своё поведение.

Замечательно, что по сходным принципам можно заставить «обучаться» и «эволюционировать» и электронные схемы, как типа компьютерных, так и более универсальные, например, без потактового принципа работы, с разной силой выходящего сигнала (а не действующие по принципу «да-нет»). «На выходе» обычно получается нечто вполне работающее (хотя нередко непонятно как), иногда с заведомо «лишними» деталями (поскольку строгие ограничения отбора на лишнее при такой «эволюции» не действуют). Например, одна из электронных схем вместо того, чтобы самостоятельно давать на выходе сигнал синусоидальной формы, работала как радиоприёмник, заимствуя сигнал у стоявшего рядом компьютера. Наблюдался и эффект относительного характера приспособленности – схемы лучше всего работали при той температуре, при которой происходила «эволюция» и гораздо хуже при её изменении.

Соответствующие подходы (и сами сети или схемы) достаточно сложны, но сейчас уже успешно применяются для распознавания образов¹, предсказания хода тех или иных процессов (например, биржевых) или порождения схем с требуемыми свойствами. На их примере, как это ни удивительно, можно наблюдать многие закономерности действия отбора (роль

¹ Например, для выделения тех участков белков, которые «сидят» в мембране.

случайности в эволюции, относительный характер приспособленности, важность рекомбинации и т.д.). Успешное приложение алгебры высказываний как к техническим, так и к биологическим задачам - хороший пример могущества того, что Аристотель называл формальной причиной.

Глава 21.

Парные отношения; их свойства с точки зрения математики. Рефлексивность. Симметричность. Транзитивность

Как мы убедились, формальная логика хорошо умеет говорить на языке свойств, но довольно плохо – на языке отношений. Чтобы немного научиться говорить хотя бы о парных отношениях, мы можем вновь призвать на помощь математическую логику и посмотреть, что знает об отношениях она^{xxxix}. Знает она опять-таки лишь то, что относится к объёму соответствующих множеств. Иначе говоря, она рассматривает отношения с точки зрения того, какие пары элементов могут, а какие – не могут входить во множество, соответствующее парному отношению. Для лучшего усвоения того, что изложено ниже, рекомендуем перечитать главу 2.

Упражнение 1. Приведите примеры отношений, которые не являются парными.

Отношение называется **рефлексивным** (обращённым на себя), если каждый элемент из рассматриваемой области находится в данном отношении с самим собой. В соответствующее множество входят все пары вида (a, a) , (b, b) ,... (z, z) (и могут входить какие-то ещё пары).

Пример рефлексивного отношения – отношение похожести (мы считаем, что два объекта могут быть либо похожи, либо непохожи, без промежуточных вариантов). Вопреки фразеологическому обороту "сам на себя не похож" каждый человек, даже самый уникальный, непохожий ни на соседку, ни на дядю, ни на папу с мамой, похож сам на себя. Как известно, существуют криминалистические системы, которые по фотографии преступника выдают список подозреваемых. Первейшая проверка таких систем состоит в том, что они должны выделять как похожие фотографии одного и того же человека с раз-

ной причёской, в разных поворотах, в разном настроении и даже в разном возрасте.¹

Отношение называется *антирефлексивным*, если оно может связывать *только* несовпадающие элементы. Иначе говоря, в соответствующее множество не может входить никакая пара вида (a, a), (b, b), ... Пример заведомо антирефлексивного отношения – "вид a – предок вида b".

Упражнение 2. Рассмотрите отношение "птицы-дуплогнёздки вида a пользуются дуплами, выдолбленными птицами-дуплогнёздниками вида b". Является ли оно рефлексивным? Является ли оно антирефлексивным?

Отношение называется *симметричным*, если из того, что отношение связывает элемент a с элементом b, следует то, что оно связывает и элемент b с элементом a. Иначе говоря, если в соответствующее множество входит пара (a, b), то в него должна входить и пара (b, a).

Примеры симметричных отношений – то же самое отношение похужести или отношение "принадлежать к одному виду". Вот еще один пример. С точки зрения классической экологии представители двух видов, оказавшись в одном сообществе, могут конкурировать в том случае, если они используют один и тот же ресурс. (Ресурс – это, грубо говоря, то, чего может не хватать: пища, убежище и т. д.) Будем говорить, что два вида находятся в отношении конкуренции если какие-либо их представители, находящиеся в одном природном сообществе, конкурируют друг с другом. Отношение конкуренции – с точки зрения традиционного эколога - рефлексивное и симметричное. Если будет обнаружена, например, его несимметричность (вид А страдает от соседства с видом В, а вид В не страдает от соседства с видом А), то это означает, что конкуренция осуществляется не в соответствии с классической моделью.

Различают *асимметричные* и *антисимметричные* отношения. Асимметричное отношение не может одновременно связывать элемент a с элементом b и элемент b с элементом a (иначе говоря, в соответствующее множество не может входить как пара вида (a, b),

¹ Интересно, что при половом импринтинге (запечатлении потенциального будущего партнёра) у воробьиных птиц импринтируется именно видоспецифический тип песни, а не конкретный вариант, который поёт отец этой птички, сидя у гнезда.

так и пара вида (b, a)). Понятно, что такое отношение может быть только антирефлексивным.

Чтобы можно было говорить об асимметрии рефлексивных или хотя бы не антирефлексивных отношений, выделяют также антисимметричные отношения. Антисимметричные отношения могут связывать элемент a с элементом b и элемент b с элементом a лишь в том случае, если элементы a и b совпадают.

Отношение "вид a – предок вида b" является также и асимметричным. Отношение «a – победитель b в данной игре» - антисимметрично, если считать, что a может сыграть и с самим собой.

Упражнение 3. Рассмотрите отношение "представители вида a могут при совместном обитании в природе питаться представителями вида b". Является ли оно симметричным, асимметричным или антисимметричным?

Отношение называется *транзитивным* (переходным) если из того, что оно связывает элемент a с элементом b, а элемент b с элементом c, следует, что оно связывает элемент a с элементом c. Иначе говоря, если в соответствующее множество входят пары (a, b) и (b, c), то в него должна войти и пара (a, c). Последовательность элементов в парах важна, поскольку транзитивное отношение не обязано быть симметричным.

Пример транзитивного отношения: "вид a и вид b – члены одной пищевой цепи в данном озере".

Вопрос 1. Можно ли строить умозаключения так, как в приведённых ниже примерах? Почему? Является ли отношение "a – большая часть b" транзитивным?

"Большинство животных – членистоногие. Большинство членистоногих – насекомые. Следовательно, большинство животных – насекомые".

"Большинство учеников нашего класса – девочки. Большинство девочек хорошо относятся к преподавателю литературы. Следовательно, большинство учеников нашего класса хорошо относятся к преподавателю литературы".

Задача 1. "Птицы произошли от рептилий. Рептилии произошли от амфибий. Следовательно, птицы произошли от амфибий".

Теряется ли при использовании такого заключения вместо исходных посылок какая-то часть информации? Если да, то какая?

Глава 22.

Примеры парных отношений с точки зрения математика. Эквивалентность. Сходство. Порядок

Зачем нам в предыдущей главе понадобилось так подробно разбирать свойства отношений? Оказывается, любые парные отношения, обладающие одинаковым набором этих свойств, для математиков в значительной мере взаимозаменяемы, поскольку отсюда они могут заключить, что некоторые другие их свойства тоже будут совпадать.

Любое отношение, которое является рефлексивным, симметричным и транзитивным, называется **эквивалентностью**. Всякое отношение эквивалентности разбивает рассматриваемую область элементов на **классы эквивалентности**. Любые два элемента, относящиеся к одному классу, связаны отношением эквивалентности (эквивалентны друг другу). Любые два элемента, относящиеся к разным классам, отношением эквивалентности не связаны (друг другу не эквивалентны). Например, если считать эквивалентными любые два автомобиля одной модели (проверьте, что это действительно эквивалентность), то классами эквивалентности будут модели автомобилей.

Разбиение на классы эквивалентности происходит *без остатка* и классы эквивалентности *не пересекаются*. Заметим, что когда происходит *деление понятия*, то на каждом шаге деления получаются как раз классы эквивалентности. *Никакое* иное отношение не даёт разбиения без остатка на непересекающиеся классы; поэтому понятно, что отношение эквивалентности должно стоять для логики на совершенно особом месте.

С точки зрения отношения эквивалентности любой элемент является полноправным представителем всех остальных элементов своего класса эквивалентности (например, автомобиль – всех автомобилей своей модели). Его можно принять за **эталон**. Желая узнать, принадлежит ли какой-либо элемент к классу, представленному эталоном, мы будем сравнивать этот элемент с эталоном (находятся они в отношении эквивалентности или нет). Представление об эталоне близко к идеям античных логиков. С их точки зрения всем представителям какого-либо вида была в равной степени свойственна

принадлежность к своему виду, его отличительные и собственные признаки (любой человек в равной степени человек, разумен, смертен и способен смеяться).

Систематические группы одного ранга (например, виды) с формальной точки зрения – тоже классы эквивалентности. Элементы этих классов – таксоны более низкого ранга (а для видов – индивиды). Не будь отношение принадлежности организмов к одному виду отношением эквивалентности, мы не могли бы отнести любой организм к какому-нибудь (и только к одному!) определённом виду. Отношение "организм а и организм b принадлежат к одному виду" – это отношение эквивалентности, то есть оно рефлексивно, симметрично и транзитивно. Последние два свойства довольно очевидны. Первое представляется немного странным, практически тавтологией. Однако среди систематиков пользуется большой популярностью анекдот о том, как специалист по определению ястребинок¹ определил две половинки одного кустика как разные виды. Очевидно, что таких результатов получаться не должно. Есть в систематике и представление об эталонном экземпляре, по которому был описан новый вид, открытый или выделенный из старого (*голотипе*).

Вопрос 1. У систематиков есть принцип, согласно которому две отличающиеся формы должны быть объединены в один вид или отнесены к разным видам в зависимости от того, найдены ли формы с промежуточными особенностями, которые могут быть отнесены в один вид с каждой из этих двух форм. Соответствует ли этот принцип математическим представлениям об отношениях?

Самый простой способ получить какое-нибудь отношение эквивалентности таков. Выберем для некоторой области (например, для многоклеточных животных) набор признаков так, чтобы каждый из них был характерен лишь для части элементов рассматриваемой области². Например, можно взять признаки "хищный", "умеющий летать", "умеющий нырять". К одному классу эквивалентности будут принадлежать элементы, для которых совпадают все признаки из нашего набора (а прочие признаки могут как угодно отличаться). Например, в один класс эквивалентности войдут шершень и ястреб-тетеревятник, в другой – взрослый майский жук и летучая мышь

¹ Ястребинки – группа с апомиктическим размножением, отсюда и сложность систематики.

² При желании можно ограничиться и одним признаком с указанным свойством.

пальмовый крылан. Для иного набора признаков классы эквивалентности будут другими.

Связь между признаками и соответствующими классами эквивалентности можно описать и по-другому. Мы можем выделить *свойства* (качественные признаки) именно тогда, когда можем выделить *классы объектов, эквивалентных с точки зрения своих свойств* ("всех мудрых", "всех хищных" и так далее - сравните с тем, что было написано об эталоне)¹.

Помните, мы собирались обсудить вопрос о том, что это за свойство "*быть птицей*"? Для систематика, как писал ещё Линней, "не признаки определяют род, а род определяет признаки". То есть организм, не обладающий некоторыми признаками, характерными для группы, всё-таки может считаться птицей (розоцветным, инфузорией), если он достаточно похож на других птиц (на эталон) и куда менее похож на представителей других групп. Конечно, такая ситуация порождает проблемы. Ведь диагноз группы стремятся написать так, чтобы в нём было поменьше слов "*как правило*", "*обычно*", "*почти все*". Но всё-таки лучше дать менее красивый диагноз, но не выкидывать из группы её явного представителя.

Кроме того, самки, очевидно, принадлежат к тому же виду (классу эквивалентности), что и самцы, с которыми они регулярным образом образуют пары², а детёныши – к тому же виду, что и родители³. Это позволяет определить их видовую принадлежность даже в том случае, если определение по обычным отличительным признакам невозможно.

Любое отношение, которое является рефлексивным и симметричным, называют отношением *сходства*⁴. На примере отношения похожести (рефлексивного и симметричного) мы можем убедиться, что не всякое отношение сходства транзитивно. Если Пётр Семёнович похож на Ивана Григорьевича, а Иван Григорьевич – на Василия Кузьмича, то Пётр Семёнович вовсе не обязательно тоже похож на Василия Кузьмича. Ведь может статься, что Пётр Семёнович похож

¹ В данном случае от того, что мудрость у разных людей может количественно и качественно отличаться, неизбежно приходится абстрагироваться.

² За исключением таких экзотических случаев, как гиногенез и кредитогенез, когда в размножении участвуют самцы другого вида.

³ За исключением гнездового паразитизма и других подобных случаев.

⁴ Отсюда следует, что отношение эквивалентности – такое отношение сходства, которое ещё и транзитивно.

на Ивана Григорьевича тем, что высок и тощ, Василий же Кузьмич потолще и пониже, зато, как и Иван Григорьевич, оброс густой чёрной бородой (а у Петра Семёновича бородка жиденькая)

Вопрос 2. Рассмотрите разобранное в главе 17 отношение "вид а конкурирует с видом b". Можно ли все известные виды разбить на группы таким образом, чтобы виды из одной группы конкурировали друг с другом, а виды из разных групп – нет? Исходите в данном случае из модели классической экологии.

Вопрос 3. В бактериальной клетке дополнительно к основной молекуле ДНК могут содержаться и воспроизводиться более короткие молекулы – плазмиды. Обычно число экземпляров каждой плазмиды невелико. Некоторые плазмиды *несовместимы* друг с другом: если они попали в одну клетку, то рано или поздно только одному типу плазмид удастся воспроизвестись и попасть в дочернюю клетку. Остатся в дочерней клетке могут как исключительно копии первой плазмиды, так и исключительно копии второй. Две плазмиды, несовместимые с третьей, несовместимы и между собой.

Можно ли разбить плазмиды на группы, исходя из их совместимости между собой? Как вы полагаете, у каких плазмид последовательности ДНК более похожи – у совместимых или несовместимых?

Задача 1. Является ли отношение "орган а гомологичен органу b":

- а) отношением сходства;
- б) отношением эквивалентности?

Простой способ получить какое-либо отношение, которое было бы отношением сходства, таков. Возьмем набор признаков и будем считать сходными те элементы, у которых совпадает *хотя бы один* признак из данного набора¹ (признаком в данном случае будет как А, так и не-А - "умеющий нырять" и "не умеющий нырять"). Например, если мы опять воспользовались набором {"хищный", "умеющий летать"}, то стрекоза, ястреб-тетеревятник, майский жук и пальмовый крылан сходны, поскольку они умеют летать. Стрекоза и ястреб-тетеревятник сходны с волком как хищники, а майский жук и пальмовый крылан сходны с овцой тем, что хищниками не являются.

¹ Если набор состоит из одного признака, то соответствующее отношение будет не только сходством, но и эквивалентностью.

Однако не всякое отношение сходства удобно представлять таким образом. Возьмём, например, сходство по росту. Назовём сходными по росту людей, рост которых отличается не больше, чем на 5 см (такие люди могут, скажем, пользоваться одними лыжами). Тогда, если рост Петра Семёновича 185 см, Ивана Григорьевича – 182 см, а Василия Кузьмича – 178 см, то Пётр Семёнович с Иваном Григорьевичем и Иван Григорьевич с Василием Кузьмичом по росту сходны, а Пётр Семёнович с Василием Кузьмичом – нет. Транзитивность, как видим, не соблюдается - полученное отношение является сходством, а не эквивалентностью. Почему? Признак один, но в данном случае мы рассматривали количественные, а не качественные отличия.

Аналогичные примеры можно найти и в физиологии. Можно, например, называть сходными точки экрана, которые при определённом фиксированном положении глаза зрительно неразличимы, поскольку лежат слишком близко. Попробуйте показать, что это именно сходство, а не эквивалентность. (Кстати, именно изучая подобный пример, английский математик Зиман предложил определение сходства.) Другой близкий пример – можно называть сходными точки на коже, если два одновременных лёгких укола в эти точки ощущаются как один. Поэкспериментировав, вы обнаружите, что на разных участках кожи расстояние между сходными точками может быть разным, то есть нельзя заранее установить, являются ли две точки на коже сходными.

Задача 2. Как могут быть расположены рецепторы и устроены связанные с ними нейронные сети, чтобы упомянутое выше отношение действительно было отношением сходства?

Итак, и об отношении эквивалентности, и об отношении сходства хотя бы в некоторых случаях можно говорить на языке свойств (качественных, а не количественных отличий¹). А теперь попытайтесь представить себе какое-нибудь простое отношение, о котором на языке чисто качественных отличий говорить практически невозможно.

Скорее всего, вы назовёте что-то вроде "*старше*" ("*младше*"), "*больше*" ("*меньше*"), "*следовать*". Всё это – отношения **порядка**.

¹ В данном случае будем считать количественными любые отличия, позволяющие расположить элементы в ряд, а не просто распределить их по нескольким классам. Например, если высказывание *b* следует из высказывания *a*, но не наоборот, то высказывание *a* называется более сильным, чем высказывание *b*. Из высказывания *b* в свою очередь может следовать ещё более слабое высказывание *c* и т.д. Силу высказывания здесь мы рассматриваем как количественный признак.

Определить отношения порядка¹ сложнее, чем два предыдущих отношения. Поэтому разберёмся сначала с содержанием отношений порядка, а с их определением повременим.

Даже если наше отношение – отношение порядка, то это совсем не обязательно означает, что *любую* пару элементов можно сравнить – сказать, какой элемент больше (старше), а какой меньше (младше). Если сравнить можно *любую* пару элементов (кроме, естественно, пар типа (a, a)), то порядок называется **совершенным**. Рассмотрим, например, отношение "род a появляется в геологических отложениях раньше, чем род b ". Если род a и род b совместно не встречаются (например, соответствующие геологические отложения образовались на разных континентах), то установить, какой из этих видов появился раньше, непросто. Иначе говоря, при современном состоянии палеонтологии такое отношение является *несовершенным* порядком. Обычно для прояснения хронологии пытаются найти третий вид c , который встречался бы в геологических отложениях и вместе с a , и вместе с b (ситуация, впрочем, осложнится, если на разные континенты вид c проникал в разное время). Этот пример иллюстрирует то математическое условие, согласно которому, *всем* отношениям порядка присуща *транзитивность*. А вот с рефлексивностью-антирефлексивностью и асимметричностью-антисимметричностью для разных отношений порядка дело обстоит по-разному.

Многие отношения порядка устроены так, что для них исключено равенство (иначе говоря, эквивалентность) сравнимых элементов. Например, солдат всегда знает из армейского устава, чью команду он должен выполнять в первую очередь. Понятно, что такое отношение порядка должно быть антирефлексивно и асимметрично. Отношение, которое антирефлексивно, асимметрично и транзитивно, называют **строгим порядком**.

Упражнение 1. Асимметричность в последнее определение включать не обязательно. Оказывается, если отношение антирефлексивно и транзитивно, то оно не может не быть асимметричным. Докажите это (воспользовавшись методом "от противного").

Если наш порядок является и строгим и совершенным, а число элементов конечно, то это означает, что есть *наименьший* элемент (то есть такой, меньших которого не существует), *наибольший* эле-

¹ Математики различают несколько типов отношений порядка.

мент (больших которого не существует), и мы можем *пронумеровать* все элементы от наименьшего к наибольшему¹.

Упражнение 2. А чем отличается от строгого совершенного порядка строгий порядок, который можно задать отношением $<$, для множества натуральных чисел? А для действительных чисел на отрезке $[0, 1]$?

В других случаях допустимо равенство (эквивалентность) некоторых элементов. Например, разные окаменелости могут указывать на начало одной и той же геологической эпохи. В подобных случаях логично считать, что отношение "род a появляется в геологических отложениях не раньше рода b " выполняется между такими элементами "в обе стороны". (Если бы оно просто не выполнялось, это означало бы, что мы вообще не можем их сравнить и не знаем, какой род возник раньше.) Логично также считать (как для любой эквивалентности), что каждый элемент эквивалентен самому себе. Рассматриваемые нами сейчас отношения рефлексивны и транзитивны. Такие отношения называют отношениями *квазипорядка*. Если отношение квазипорядка ещё и симметрично (выполняется "в обе стороны"), то оно становится эквивалентностью и мы можем выделить классы эквивалентности. Например, в боксе спортсменов, вес которых обеспечивает сходные боевые характеристики, объединяют в одну весовую категорию. В данном случае классы эквивалентности – это весовые категории.

А уже между классами эквивалентности (не обязательно между любыми) может существовать отношение порядка. Например, если боксёр прибавляет в весе, то он попадает в более тяжёлую категорию, если сбрасывает вес – в более лёгкую. Но какой это порядок? Разумно считать, что поскольку класс эквивалентности эквивалентен самому себе, то наш порядок рефлексивен. А ведь строгий порядок – антирефлексивное отношение. Таким образом, приходится различать строгий порядок, который соответствует, например, отношению "больше" в математике, и нестрогий порядок, который соответствует отношению "больше или равно". **Нестрогий порядок** – это любое рефлексивное, антисимметричное и транзитивное отношение. Иначе говоря, каждый элемент при нестрогом порядке "больше или равен" самому себе, но между несовпадающими элементами это отношение может выполняться только в одну сторону.

¹ Например, в очереди мы можем считать наибольшим того, кто стоит первым, а наименьшим - последнего (можем, естественно, и наоборот). Само собой, там, где есть очередь, возможны и номера.

В примере с весовыми категориями мы имеем дело с нестрогим порядком, который является совершенным (докажите это). Однако так бывает не всегда.

Упражнение 3. Придумайте пример несовершенного нестрогого порядка.

Какие отношения несовершенного строгого порядка интересуют биологов? В первую очередь это так называемые **древесные порядки**. Вспомните родословные деревья из вопроса 7. Предполагаемый предок (его место – в основании развилки) является предком ("больше") каждого из видов-потомков, но они уже несравнимы друг с другом и с видами из другой ветви. Зато предок из предыдущей развилки является предком для них всех. Отношение "*быть предком*" задаёт древесный порядок. Итак, древесный порядок – это несовершенный строгий порядок, начинающийся с *наибольшего* элемента, который сравним со всеми прочими и больше их, а дальше идут ветвления, и какой-либо элемент можно сравнить только с элементами, принадлежащими одной ветви. Ниже мы постараемся перевести это определение на более строгий математический язык, а сейчас постараемся понять его на ещё одном примере.

У каждого человека два родителя. Поэтому человеческие родословные будут выглядеть как древесный порядок лишь если на них изображено происхождение различных потомков от какого-то определённого предка (скажем, от Александра Сергеевича Пушкина) так, чтобы можно было разобрать, кто ему сын или дочь, а кто правнук. Непрямые родственники вроде дяди, невестки или внучатого племянника Александра Сергеевича составителя специально не интересуют, хотя из подобной схемы и можно вычислить не прямое родство. Например, Иван Грозный принадлежит к Рюриковичам – династии, которая по преданию произошла от легендарного варяга Рюрика, призванного править на Русь. Царская ветвь этой династии пресеклась, когда умер бездетным Фёдор Иоаннович и погиб царевич Дмитрий. Но другие ветви сохранились. Рюриковичем был, например, революционер, теоретик анархизма и учёный П.А. Кропоткин. Однако претендовать на престол представители других ветвей не могли - не было родства с Иваном Грозным по прямой линии ("сравнимости"). Трагическим итогом стало Смутное Время и основание новой династии.

Упражнение 4. В каком случае в родословных, построенных "от одного определённого предка", древесный порядок будет нарушаться?

Как математики выражают сравнимость элементов, принадлежащих одной ветви? Проще всего сделать это так. Пусть у нас есть элемент a и два других элемента b и c , которые сравнимы с ним и больше его (то есть ближе к основанию дерева). Тогда такие элементы b и c обязательно должны быть сравнимы. Например, если b и c - предки a , то один из них должен быть предком другого. Это означает, в частности, что среди всех предков, общих для двух видов, всегда можно выделить ближайшего общего предка (самого "младшего").

Вопрос 4. На рисунках 24-26 изображено несколько древесных порядков. Какие из них могли бы иллюстрировать родственные связи различных групп организмов? Укажите ближайшего общего "предка" для элементов:

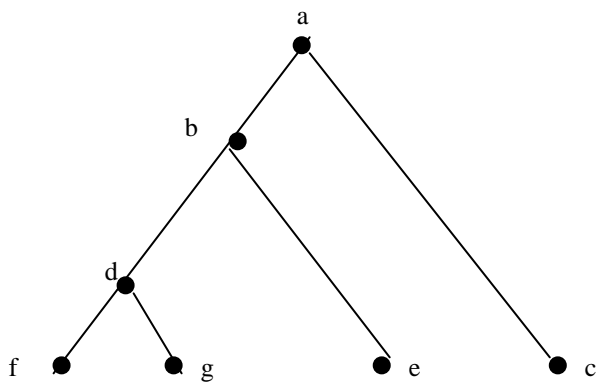


рис. 24.
а) f и e;
б) e и c;

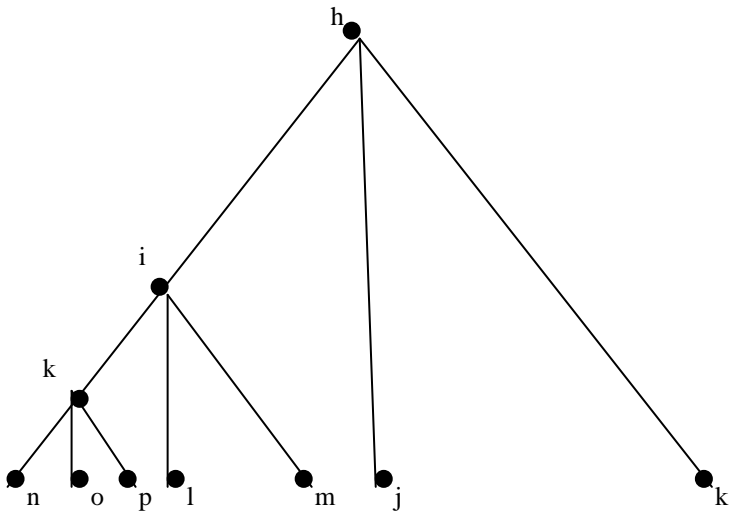


Рис.25.
в) о и т
г) п и ј

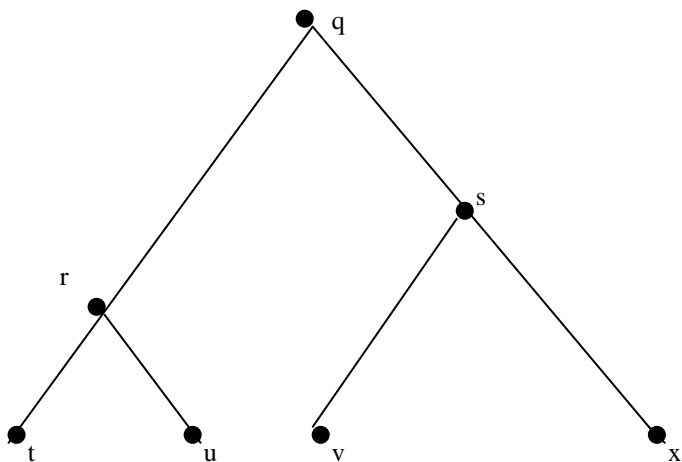


Рис.26.
 д) t и v;
 е) v и x.

Рассмотрим пример, показывающий пользу родословных деревьев в биологии. У пёстрых дятлов иногда (например, при отсутствии подходящего партнёра) образуются смешанные пары: скажем, из большого пестрого и сирийского дятлов. Каждая птица сначала пытаются общаться при помощи сигналов своего вида, которые гомологичны у разных видов лишь частично. Когда это заканчивается неудачей, сигналы обеих птиц начинают варьировать, и, если пара не распадается, сближаются друг с другом по облику¹, приближаясь к облику сигналов того современного вида, который наиболее близок к их общему предку (его сигналов мы, понятное дело, непосредственно наблюдать не можем). При этом гораздо больше изменяются сигналы того вида, который сильнее изменился, эволюционируя от общего предка. Исследование ряда случаев даёт существенные основания для следующего объяснения. “Сбитые с толку” птицы начинают воспроизводить облик сигналов своих предков (то есть тех, с кем их связывает отношение древесного порядка), но не видов из боковых вет-

¹ В данном случае имеются в виду не звуковые, а визуальные сигналы - ухаживательные демонстрации. Но и у звуковых сигналов есть свой акустический образ, визуально отображаемый сонаграммой.

вей. Посредством сигналов общих предков и происходит общение. В результате знание родословных позволяет прогнозировать ход событий при образовании смешанной пары, несмотря на то, что такие ситуации случаются очень редко и число наблюдений невелико.

Система организмов - другой пример древесного порядка. Любой класс живых организмов входит в определённый тип, то есть подчинён ему (младше). Любой отряд входит в определённый класс и в определённый тип. Любое семейство входит в определённый отряд, класс и тип.

Вообще любая правильно построенная классификация порождает древесный порядок.

Упражнение 5. Почему древесного порядка не получается, если считать, что класс старше, чем тип, а отряд старше, чем класс?

Упражнение 6. (для любителей программирования). Можно ли установить отношения порядка между командами внутри любой программы по очерёдности их выполнения?

Упражнение 7. В средневековом праве нередко действовал принцип: "*Вассал моего вассала – не мой вассал*". Можно ли назвать эту иерархию порядком в математическом смысле этого слова?

Упражнение 8. Университетом управляет ректор. Его приказам подчиняются деканы факультетов. Заместители деканов по административной части, учебной части и пр. подчиняются приказам ректора и приказам декана своего факультета. Является ли описанное отношение порядком, и если да, то каким?

Вопрос 5. Будем называть иерархией любые отношения животных, при которых в определённых ситуациях один доминирует (например, первым получает доступ к корму или имеет право проникать на чужую территорию), а другой подчиняется. Придумайте схему возможных отношений между животными на конкретный период, таким образом, чтобы было понятно, что данная иерархия является:

- а) строгим совершенным порядком;
- б) несовершенным строгим порядком;
- в) вообще порядком не является.

Глава 23.

Изменение и развитие. Законы формальной логики и причины их нарушения.

Перечислим самые важные законы формальной логики. Это:

закон тождества: каждое понятие должно употребляться постоянно в одном и том же объёме и содержании;

закон противоречия: не могут быть одновременно истинными два *противоположных суждения* ("цветок гороха – радиально-симметричный" и "цветок гороха – двусторонне-симметричный");

закон исключения третьего: из двух *противоречащих друг другу суждений* ("страус эму умеет летать" и "страус эму не умеет летать") истинно одно и только одно.

Чтить эти законы, казалось бы, нетрудно. Прежде всего, как отмечали ещё древние греки, в формальной логике следует говорить о предмете, взятом *в одно и то же время в одном и том же отношении*. Например, если мы рассматриваем одного и того же человека, то он может быть сегодня необразован, а через пять лет (если постарается) – образован (как бы мы не определили образованность). Противоречия чаще всего возникают, если речь заходит не только о *действительном*, но и о *возможном*, когда предмет *изменяется* (необразованный человек может получить образование).

Можно подойти иначе и говорить только о таких свойствах предмета, без которых он просто *не был бы тем же самым предметом* (например, чтобы стул был стулом, а не обломком, на котором невозможно сидеть, ему необходима устойчивая опора и сиденье). Но на этом пути нас подстерегает ловушка. Способность человека быть как образованным, так и необразованным, а также переходить из од-

ного состояния в другое – его *существенное* свойство, прямо связанное с природой человека¹ (камень или кабан не могут быть ни образованными, ни необразованными).

Аристотель говорил о законе исключения третьего и изменении предметов следующее (примеры в скобках - аристотелевские). Есть четыре типа противопоставлений – **соотнесение** (2 и 1/2)², **противоположность** (зло и благо), **лишённость и обладание** (слепота и зрение)³, **утверждение и отрицание**⁴ (сидит – не сидит). Закон исключения третьего выполняется для утверждения и отрицания. Если новое качество – образованность – возникает или исчезает, мы имеем дело с противоположностями или с лишённостью и обладанием.

Кроме того, к разобранному выше случаю изменения предмета применима аристотелевское представление о различных типах причин. Любая материя обладает своей особенной природой, но может существовать в различных формах, свойства которых неодинаковы и могут даже противоречить друг другу. С точки зрения Аристотеля, материя, общая для какого-то рода, в разных видах может быть оформлена противоречащими друг другу отличительными свойствами. Авторы могут привести такой пример: самец домового воробья имеет на груди “галстук”, а самец полевого – нет.

Необразованный человек (выступающий как материя или материальная причина) под влиянием уроков учителя (действующая причина) в соответствии со своей человеческой природой может приобрести систему знаний и умений (формальная причина), которая характеризует человека образованного. Если приобретение этой системы знаний (а не диплом или избежание палки) было его целью *ещё до начала* учёбы, то формальная причина выступает также как целевая причина⁵. На этом примере можно видеть, возможную взаимосвязь причин.

¹ Поскольку способность приобретать систему знаний прямо связана с отличительным свойством человека - разумностью, и может быть включена в определение разума, если нам потребуется дать такое определение.

² Видимо, к соотнесению в понимании Аристотеля близко, например, рассмотренное в главе 15 противопоставление формы и содержания.

³ Примеры, сходные, по-видимому, с аристотелевским пониманием лишённости и обладания рассмотрены в задаче 12 а) и в).

⁴ Мы, вероятно, должны были бы для случая утверждения и отрицания говорить о противоречии.

⁵ Это, кстати, предполагает, что ещё до начала обучения человек должен иметь некоторое представление об изучаемом, точно так же, как ещё до начала познавательной деятельности – некоторое представление о том, что

Если возникновение новых качеств продолжится, то бывшая **формальная причина станет материальной** (человек, который изучил высшую математику, способен после этого освоить электромагнитную теорию). С позиций Аристотеля то же происходит и **при новом шаге деления понятия** (см. главу 13): отличительные признаки вида, выступавшие как его форма, становятся материей нового, более мелкого¹ рода, в который этот вид превращается.^{xi}

Рассмотрим особенно интересный биологу случай возникновения нового – эволюцию. Действующей причиной эволюции является естественный отбор. Он происходит за счёт того, что организмы с одними признаками лучше выживают и размножаются, чем организмы с другими. Однако сами признаки осмыслены лишь в рамках определённой структуры. Признаки, связанные с формой надкрыльев, отбор может оценить только в том случае, если у организмов есть надкрылья и есть их изменчивость по форме. То или иное направление отбора тоже не абсолютно, а задано структурой. Один вариант фермента будет лучше работать у теплокровных, другой у холоднокровных. От структуры (в данном случае от хода онтогенеза) зависит и то, насколько устойчиво определённый признак будет воспроизводиться у потомков. Так же обстоит дело и с теми внешними структурами, в которые включён организм. Отношение отбора к тем или иным вариантам павлиньего хвоста задано существованием причудливой системы ухаживания, при которой самец должен совершать сложные демонстрации, выставляя во всей красе парящийся и страшно неудобный хвост. Даже отношение отбора к приспособлениям, облегчающим сбор какого-то вида корма, зависит от того, какой стратегией сбора корма пользуются представители данного вида. Таким образом, морфологические и поведенческие структуры отбор «не видит», они сами образуют ту арену, на которой происходит отбор, выступая в роде материальной и формальной причин. Признаки же для отбора – это не вещи, а скорее имена вещей, позволяющие их различать.^{xii}

Тем не менее, в ходе эволюции изменяются как признаки организмов, так и их структуры (что создаёт возможность для появления новых признаков).^{xiii} На аристотелевском языке это можно объяснить взаимным переходом материальных и формальных причин.

он познаёт. В последнем случае некоторые исходные представления о мире, видимо, заложены в нас за счёт того, что мы тоже биологические существа, предки которых в этом мире жили.

¹ С точки зрения логиков.

Возьмем два близких группы птиц: исходный - род¹ пёстрых дятлов, и производный - род трёхпалых дятлов. В роду пёстрых дятлов малоспециализированный подрод острокрылых дятлов - предковый как для остальных подродов рода пёстрых дятлов, так и для группы более высокого ранга - рода трёхпалых дятлов. Для всех этих групп характерны идущие от угла рта «усы», изначально, видимо, возникающие вне прямой связи с отбором, а просто как результат флуктуаций в концентрации меланина на разных участках тела. Поэтому изначально (у острокрылых дятлов) усы имеют размытую и неопределённую форму. Потом показ усов начинает входить в различные демонстрации видов. Признаки, связанные с формой усов, становятся объектом естественного отбора.

В результате у разных видов острокрылых дятлов рисунок лицевой «маски» различен, но достаточно размыт и не определён.

У 3-х подродов пёстрых дятлов, произошедших от острокрылых, форма «усов» стабилизируется, но для каждого из подродов характерен свой тип уса, соответствующая структура выполняет роль **формы**. Внутри же подрода тип уса уже не меняется, выполняя роль **материи**. И у трёхпалых дятлов рисунок усов уже больше не варьирует - он становится общим для всех трёхпалых дятлов признаком, выступающая **в роли материи**.

Зато у разных видов начинают варьировать другие признаки, например, пестрины на брюхе и строение украшающих перьев, выступающая **в роли формы**.

Задача 1. Приведите примеры особенностей, которые могли возникнуть в эволюции только после того, как соответствующей группой (группами) организмов уже были приобретены другие особенности.²

Если для рассматриваемой нами системы характерны сложные и уникальные причины, цепочки материальных и формальных причин

¹ Род, естественно, систематический, а не логический.

² Желательно избежать формальных ответов типа: украшающие перья могли возникнуть только после того, как у предков птиц появились перья. Пример более удачного ответа: когда у рептилий возникло более эффективное дыхание с помощью рёберной мускулатуры, это снизило роль кожного дыхания. Поэтому венозная кровь (в том числе идущая от кожи) уже не должна была переносить кислород, и оказалось возможным полностью разделить венозные и артериальные токи крови, таким образом, что в одном круге кровообращения кровь только насыщается кислородом, а в другом - только его отдаёт.

приводят к появлению **преемственности**. Это означает, что по нынешнему состоянию системы можно многое сказать не только о непосредственно предшествовавшем ему состоянии, но и о более ранних. На первый взгляд кажется, что преемственность только тормозит развитие. Однако в действительности настоящее *развитие* (а не беспорядочные скачки от одного состояния к другому) становится возможным лишь благодаря преемственности, сохраняющей уже достигнутое. Именно преемственность позволяет выделить определённые направления в эволюции животных и растений. Например, в эволюции позвоночных такое магистральное направление – усиление роли психики в поиске новых приспособительных инноваций, с которыми уже потом «работает» отбор.

Вопрос 1. Какие еще направления эволюции организмов (возможно, более частные) вы можете указать? Требуется привести примеры устойчивой тенденции изменений, а не просто свойств, которые можно приобрести за один “шаг” (например, утратить пигмент).

Задача 2. Одна из главных причин преемственности в эволюции видов – наследственность. Что может быть причиной преемственности при изменении биогеоценоза? А при развитии науки?

Задача 3. Нередко проводят аналогии между развитием живых организмов и технических устройств. А в чём различия характера преемственности в этих двух случаях развития?

Природа и науки о ней развиваются. Часто в природе одновременно представлены разные стадии и варианты развития, что мешает соблюдению в биологических определениях принципов формальной логики.

Например, кроме фотосинтеза цианобактерий и эукариотов, при котором разлагается вода и выделяется кислород, есть более простой (с точки зрения биохимических реакций) фотосинтез зелёных и пурпурных бактерий, при котором разлагается сероводород и выделяется сера. Первый тип фотосинтеза может происходить почти повсеместно, для второго нужен редкий ресурс – сероводород (H_2S). Более того, некоторые фотосинтезирующие пурпурные бактерии энергию в ходе фотосинтеза получают, а использовать её для синтеза органических веществ не умеют (не могут быть автотрофами). А биологам желательно ввести определение фотосинтеза, которое включало бы все эти случаи. Желательно, например, потому, что примитивные фотосинтезирующие организмы могут переключаться с одного типа фотосинтеза на другой и понятно, что разные типы фо-

тосинтеза эволюционно связаны друг с другом (исключая, может быть, фотосинтез с помощью бактериородопсина).

Вопрос 2. Попробуйте придумать такое определение.

Ещё пример одновременной представленности в природе разных стадий развития. Хорда играет важную роль в строении всех хордовых. Охарактеризовать план строения хордовых, не вводя понятия о хорде и не раскрывая её роль - невозможно. Однако роль хорды у разных организмов разная. У ланцетника хорда сохраняется во взрослом состоянии и выполняет опорную функцию, а расположение мускулатуры и нервной трубки с ней связано. У взрослых позвоночных хорда часто полностью исчезает, но всё равно успевает в ходе эмбрионального развития определить положение мускулатуры и нервной трубки. Есть и такие случаи, когда хорда сохраняется у взрослой особи¹, но основную роль играет в эмбриональном развитии - иными словами, и тут мы встречаемся с переходными случаями, которые не позволяют дать также определение с помощью связки “или”.

Формальная логика требует рассматривать предмет в *одном отношении*. Этот принцип легко нарушить, если забыть о связи свойств и отношений. Благо ли дождь? Это как посмотреть. В отношении земледельца² он – благо, для путника – зло.

Приведём пример того, как биологам приходится рассматривать один и тот же предмет в *разных отношениях*. Гаттерия точечная – единственный современный вид в своём роду, семействе и в отряде Клювоголовые. В ископаемом состоянии найдено ещё несколько видов этого рода, но к настоящему времени все остальные виды вымерли.

Теперь существует только один вид гаттерии с характерными только для этого вида признаками: {Гаттерия точечная}.

Этот вид можно рассматривать и как представитель рода Гаттерия, с признаками, которые объединяли её с другими видами этого рода: {{{Гаттерия точечная}, {Гаттерия ?}, {Гаттерия ?}, ...}. Но теперь род состоит из одного вида: {{{Гаттерия точечная}}}.

Вид Гаттерия точечная – ещё и представитель семейства: {{{Гаттерия точечная}}}, объединявшего, вероятно когда-то разные рода. А

¹ Попробуйте самостоятельно вспомнить соответствующий пример.

² Во всяком случае – греческого.

ещё наш вид – представитель отряда Клювоголовые: {{{{Гаттерия точечная}}}}).

Множества {Гаттерия точечная} и {{Гаттерия точечная}} и соответствующие им понятия *разные*: первое множество – элемент второго.

Множество, соответствующее понятию, может состоять даже из одного элемента. Ведь с помощью идеализации, позволяющей образовывать понятия, можно выявить черты всеобщего в любом явлении, даже в уникальном (черты движения по инерции в любом движении, черты жизни вообще в земной жизни). Но идеальный объект (соответствующий этому множеству) *отличается* от объекта окружающего мира (хотя бы потому, что в окружающем мире нет “чистого” движения по инерции).

Особенно хорошо это видно, если говорить не о множествах, а о понятиях. Рассмотрим понятие *белизна*. Простыня, мороженое или взбитые сливки могут быть или белыми или небелыми. Но *белизна* – свойство всех элементов множества – ни белой, ни небелой быть не может. Если рассматривать белизну как элемент той же *предметной области* (см. главу 4), что и мороженое, то нарушается закон исключения третьего.

Вопрос, бела ли белизна, нелеп. Вопрос, является ли понятием множество всех понятий, представляется вполне законным. Однако и на него тоже нельзя ответить ни да, ни нет.

Упражнение 1. Какие сложности возникают при ответе на вопрос, является ли понятием множество всех понятий?

Чтобы не попадать в подобные ситуации, договариваются не рассматривать множество наряду с его элементами, не относить их к одной предметной области¹.

Глава 24.

Развитие научных понятий. Противоречия при определении объёма и содержания понятия. Противоречия как причина развития

¹ Но есть и более “хитрые” приемы.

С развитием науки понятия приходится определять по-новому. А так как каждое научное понятие связано со многими другими, то развитие науки не всегда возможно описать, оставаясь в рамках формальной логики.

Вопрос 1. Как изменялись в ходе развития науки объём и содержание:

а) понятия “клетка”;

б) понятия “иммунитет”?

С чем были связаны эти изменения?

Можно выделить два основных пути радикальной трансформации научного понятия.

В первом случае развитие науки заставляет уточнять его содержание, дробя одно понятие на два или несколько (так были разведены два разных понятия *территория*). Новые понятия могут в дальнейшем развиваться независимо друг от друга.

Во втором случае содержание понятия развивается, но дробления не происходит. Так было с понятием *случайность*. Разные моменты в содержании этого понятия продолжают взаимодействовать друг с другом, обогащая наше представление о случайности, обнаруживаются новые его моменты.

Взаимодействие разных моментов содержания понятия особенно заметно, когда понятие входит в систему противопоставлений (например, “форма – материя”, “форма – содержание”, “форма – функция” – противопоставления такого типа Аристотель называл **соотнесением**). В систему противопоставлений обычно включают самые общие понятия, которые нельзя определить иначе – скажем, через род и видовые признаки (см. главу 15).

Для понятия “случайность” можно выделить противопоставления:

случайность (например, случайность как результат незнания или случайность по совпадению) – **закономерность**;

случайность (например, случайность по совпадению или случайность как неустойчивость) – **необходимость (когда что-либо не может не существовать или не произойти)**;

случайность (например, случайность радиоактивного распада) – **причинность (наличие действующей причины)**;

случайность (например, случайность как относительность знания или результат незнания) – *объективность* (**независимость от точки зрения**);

случайность (например, случайность как неустойчивость) – *подконтрольность*.^{xliii}

Ещё одно противопоставление, которое редко встречается в других естественных науках, но в биологии иногда используется, - *случайность* (например, случайность по совпадению или случайность как неустойчивость) - *наличие цели*.

Это именно *система* противопоставлений, поскольку каждый из моментов связан с другим, хотя и нежёстко. Маловероятно обнаружить закономерность там, где нет необходимости или объективности, вряд ли удастся поставить под контроль то, в чём мы не видим закономерности. Там же, где есть цель, обычно можно увидеть закономерное стремление к цели.

. Почему же для каждого из этих аспектов, моментов содержания не вводится своё особое понятие? В значительной степени потому, что они связаны не только логически, в нашей голове, но и отношениями, сложившимися в природе и обществе. Например, в силу особенностей наследования у живых существ понятие *приспособленность* включает два момента: 1) приспособленность как способность оставить как можно больше потомков, 2) приспособленность как способность иметь среди своих потомков больше похожих на себя. Это разные свойства – ведь можно оставить много потомков, но никто из них не получит ценные качества родителя. Поэтому Дарвина мучил так называемый “кошмар Дженкинса” – представление о том, что ценные качества хорошо приспособленного предка ослабляются, “разбавляются” в потомках. Биологи пытались представить себе, как оба этих момента сочетаются при действии отбора. В результате возникло представление, согласно которому отбор действует не на организмы, а на отдельные гены, которые в результате сохраняют себя в новых поколениях и воспроизводятся во всё большем числе копий. Неявно пользоваться подобным упрощением вынуждена **популяционная генетика**. Для решения многих задач такой подход вполне удобен. Однако он удобен не всегда – например, потому, что действие гена на приспособленность (в понимании 1)) можно считать

неизменным лишь для определённых генотипов и в определённых условиях среды (в том числе социальной).¹

Не менее интересная система противопоставлений связана с понятием *эволюции*. Биолог А.А. Любищев, например, выделял противопоставления^{xiv}:

эволюция – постоянство;

эволюция (развёртывание существовавших задатков) – *появление абсолютно нового, заранее не заданного* (эмбриологи в этом случае говорят о противопоставлении преформации и эпигенеза);

эволюция (постепенное изменение) – *революция* (скачкообразное изменение);

эволюция (восходящее развитие) – *нисходящее развитие;*

эволюция (необратимое развитие) – *обратимое развитие.*

Вопрос 2. Согласны ли Вы с тем, как была выделена эта система противопоставлений, или же Вы выделили бы её иначе? Как, с вашей точки зрения, связаны между собой разные моменты этой системы противопоставлений?

Осталось рассказать о *противоречии как причине развития*. Эта идея – мощный инструмент в умелых руках, хотя в излишне общем и неточном изложении она обычно представляется малополезной. Что же это за противоречия?

Начнём с *развития понятий* (таков был подход Гегеля), хотя дальнейшее наше изложение будет ближе к точке зрения Маркса. В первых, у любого понятия есть объём и содержание, причём обычно соответствие их неполное – например, какие-то элементы в соответствующее множество явно входят, но под принятое определение их вроде бы не подведёшь. Приходится думать над изменением содержания, объёма или и того, и другого. Собственно, именно с этим приставал к афинянам Сократ, допытываясь от них, скажем, что такое мужество.

Нередко противоречие между объёмом и содержанием понятия объясняется тем, что в содержании есть разные моменты, которые связаны между собой нежёстко. Вернёмся к понятию случайности. При рассмотрении конкретных ситуаций (то есть при выяснении **объёма** понятия) между разными моментами понятия случайности могут возникать противоречия. Например, падение игральной кости несчастно, поскольку подчиняется законам механики. Но падение игральной

¹ Желаящим ознакомиться с другими подходами эволюционистов к этим двум моментам мы рекомендуем книгу И.И.Шмальгаузена “Факторы эволюции”.

ной кости случайно, поскольку управлять им могут только шулера или экстрасенсы (не забывайте о значении слова “или” в математической логике!). Необходимость разрешить это противоречие привела к совершенствованию теории дифференциальных уравнений и формированию представления о неустойчивости, обогатив понятие случайности. Тут противоречие выступает как двигатель развития понятия.

Однако развиваются не только понятия, но и материальный мир. Могут ли к его развитию иметь отношения противоречия логические, противоречия между идеями «вообще», не принадлежащие конкретному мыслящему субъекту? Посмотрим, что говорят физики о развитии неорганического мира^{xiv}, и попытаемся извлечь мораль, полезную для нас как логиков и биологов. Физика со времён 19 века далеко ушла вперёд, однако мораль будет не так уж сильно отличаться от морали, которую диалектический материализм 19 века извлекал из современной ему физики.

Развитие неорганического мира шло под влиянием *противодействовавших* друг другу физических факторов, но *логических* противоречиймы в этом развитии до поры не обнаруживаем. Большинство физиков согласны в том, что сначала происходило объединение элементарных частиц в ядра лёгких элементов. Затем электроны стали объединяться с ядрами, образуя атомы водорода и других лёгких элементов. В разных участках Вселенной атомы начали собираться в галактики. Наконец, некоторые газовые облака внутри галактик сжались в такой степени, что ядра лёгких элементов вступили в реакции ядерного синтеза и зажглись звёзды. Первоначальная высокая скорость элементарных частиц “растаскивала” их, не давая проявиться действию электромагнитных и гравитационных сил. И лишь когда Вселенная расширилась и остыла, эти силы начали “собирать” частицы. *Противодействие этих факторов отнюдь не приводило к взаимному уничтожению их действия и воцарению покоя и единообразия.* Во-первых, если в какой-то области Вселенной возникало отклонение от средних значений – *флуктуация*, то противодействие этих факторов могло *усилить отклонение*. (Там, где плотность вещества была выше средней, действие гравитационных сил увеличивались и возникали галактики.) Во-вторых, образовавшиеся флуктуации, например, звёзды, могли продолжать существовать за счёт *расхождения энергии*. Звёзды лишь потому не “схлопываются” силами гравитации, что их разогревают реакции ядерного синтеза. Поскольку для этого синтеза нужен водород, а неистощимых источников энергии не бывает, любая такая структура *не является вечной*. Жизнь на Земле поддерживается лишь благодаря тому, что на Солнце идёт термоядерная реакция.

Живые существа тоже сохраняют своё существование и существование своего вида. Но их взаимодействие с окружающей средой сложнее и разнообразнее, поэтому для самосохранения им необходимо соответствовать уже *множеству противоречивых* требований (а не одному лишь требованию притока энергии, как физическим объектам в приведённых примерах). Например, хищные наземные позвоночные должны уметь захватывать и удерживать добычу, нагнетать в лёгкие воздух и т. д. При этом живой организм обладает лишь ограниченными запасами энергии и не может бесконечно усложнять своё строение.

Выполнение множества противоречивых требований – всего лишь способ выжить и продолжить род. Например, энергию можно получать не только с помощью дыхания, но и используя брожение. Но это гораздо менее эффективно и заставило бы животное отказаться от многих эволюционных приобретений. По такому пути обычно идут лишь паразиты кишечника. У большинства организмов различные структуры и их функции долго сохраняются в ходе эволюции. Поэтому можно в рассуждениях использовать целевую причину – “глаза существуют, чтобы видеть, а уши – чтобы слышать”. А это означает, что мы вправе провести аналогию развития живых существ с *развитием технических устройств*, к которым тоже прилагается множество требований.

Пусть нам нужно в полевых условиях определить степень загрязнения воды. Мы можем прокачать известный объём воды через специальный фильтр, задерживающий бактерии. Но чтобы посчитать осевшие бактерии на самом фильтре или в малом объёме смыва с фильтра, потребуется сильный микроскоп, требующий подсветки, что в полевых условиях нереально. Мы можем попытаться сгладить эти противоречия, например, используя более слабый микроскоп, посчитать тех протистов, которые тоже являются индикаторами загрязнения воды (хотя и худшими). Существует так называемая теория решения изобретательских задач (**ТРИЗ** – разработана Г.С. Альтшуллером с коллегами^{xlvi}), которая рекомендует начинать с обострения противоречий, с выявления *логической несовместимости* требований: мы пытаемся увидеть маленькие бактерии с помощью глаза, который различает лишь довольно крупные объекты. Эта теория помогает придумать, какой икс-элемент удовлетворяет обоим противоречивым требованиям. В данном случае такой элемент – твёрдая питательная среда; на нее можно поместить фильтр и через некоторое время наблюдать невооружённым глазом колонии, развившиеся из отдельных бактерий. В данном случае мы проигрываем во време-

ни, но процесс можно ускорить, наблюдая ещё небольшие колонии в тот же слабый микроскоп.

В технических устройствах нехватка энергии и места неизбежно обостряет противоречия между требованиями до логической несоместимости и заставляет инженеров (даже без применения **ТРИЗ**) идти вперёд. Например, ставим на автомобиль устройство для более эффективного использования топлива, а он в результате становится более громоздким и снижает скорость – поневоле приходится менять конструкцию машины. Это хороший пример *конструктивного противоречия*.

Задача 1. При выполнении каких функций, необходимых для поддержания жизни или для размножения, бактериям полезно иметь как можно меньшие размеры и почему? А при выполнении каких функций бактериям полезно иметь как можно большие размеры? Какие приспособления бактериальной клетки помогают смягчить конструктивные противоречия между этими двумя типами функций?

В *эволюции живых существ* есть сходство с развитием техники. Но кроме пространственных и энергетических ограничений важно ещё и то, что каждая структура во время эмбрионального развития должна из чего-то получаться и материала может просто не хватить. Кроме того, эволюция в большей степени predetermined особенностями исходной конструкции, которую нельзя быстро и радикально переделать. Рассмотрим пример – возникновение типичного для рептилий способа дыхания. Мы выражаем глубокую благодарность Ф.Я.Дзержинскому за детальное обсуждение и внимательную правку этой части текста.

У рипидистий-пандерихтиид, вероятных предков земноводных, череп делился на два блока – переднюю и заднюю часть, подвижно сочленённые друг с другом¹. Мозг животного находился в обеих частях. Подвижное сочленение позволяло рыбе симметрично открывать рот навстречу жертве в момент её схватывания. Биомеханический анализ показывает, что в отсутствие подвижности открывание челюстей было бы несимметрично, и рыба промахивалась мимо жертвы.

Раскрытие рта навстречу жертве происходило как бы само собой, за счёт практически несжимаемого стрежня хорды: у кистепёрых он проходит вдоль всего тела, и значительный отрезок хорды присутствует между блоками. Его постоянное давление действует как гид-

¹ Также как у всех остальных кистепёрых рыб. Но мы пишем только про линию, ведущую к наземным позвоночным.

ропривод и само раскрывает челюсти, стоит только расслабиться подчерепной мышце. Её же усилие нужно для того, чтобы закрыть рот.

В то же время высокая конкуренция и взаимное хищничество множества видов крупных долгоживущих рыб вела к тому, что выигрышной оказалась способность длительное время “отстаиваться” на мелководье, где плотность крупных рыб была ниже по сравнению с глубоководными участками. Все эти рыбы на мелководье вполне могли дышать атмосферным воздухом. В ту эпоху пресноводные водоёмы все были очень бедны кислородом (почему и могли образоваться столь значительные пласты угля), и у подавляющего большинства обитавших там рыб плавательный пузырь выполнял роль органа воздушного дыхания.

Соответственно, способность дышать атмосферным воздухом стимулировала выход рыб на всё более мелкие участки. Единственным препятствием настоящему выходу на сушу была её негостеприимность в то время – почти не было ни растительности, ни животных, на которых стоило бы охотиться. Но после заселения суши беспозвоночными – паукообразными, многоножками и пр. проблема была снята.

Но выход на сушу сперва блокирует внутрочерепную подвижность, а затем ведёт к смыканию и полному срастанию обоих черепных блоков. В дальнейшем развитии древний сомкнувшийся шов между блоками перекрывается костной балкой, растущей назад, и исчезает окончательно.

Наиболее вероятная причина такого срастания в том, что соответствующая конструкция вошла в противоречие с условиями наземной среды обитания и развитием остальных частей тела животного в этих условиях. Во-первых, на суше на момент выхода не было крупных жертв, которых имело бы смысл хватать, только мелкие беспозвоночные, которых следовало собирать с грунта (и у древних земноводных действительно появляются разнообразные выросты, приспособленные для подобного собирания). Во-вторых, череп из двух подвижных блоков с существенным зазором между ними не обеспечивал мозгу должной защиты, а мозг увеличился при переходе к земноводным. К тому же первые наземные позвоночные на суше были малоподвижны, что обрекало их на собирание, а не активную ловлю добычи, как это делали кистепёрые.

Далее, на суше пришлось перейти от заглатывания воздуха к более активному способу его нагнетания в лёгкие. Поскольку унаследованный от предков череп изначально обладал огромной лицевой

частью и, соответственно, ротовой полостью, то самый вероятный путь формирования нагнетательного механизма - накачивать воздух в легкие при участии огромного языка. Но язык использовался и для захватывания добычи (сбора, а не ловли). Соответственно, у земноводных дыхание и питание вошли в противоречие. Интенсификация дыхания снижала эффективность ловли добычи, а подъём эффективности кормодобывания блокировался ослаблением дыхательной функции. Подобное противоречие в морфологии, как и в технике, может быть названо конструктивным.

У всех высокоспециализированных земноводных есть два пути для того, чтобы интенсифицировать дыхание или питание хотя бы до уровня рыб¹. Это либо редукции языка с удерживанием добычи лапами и ртом, как у шпорцевой лягушки. Либо это редукция легких с дыханием кожей и носоглоткой как у безлёгочных саламандр, которые в результате перешли на питание более массовыми кормами, стали достаточно процветающей группой, а некоторые из них – вполне наземными животными (естественно, мелкими).

У менее специализированных земноводных оказался возможен и третий путь – появление «Икс-элемента», снимающего конструктивное противоречие и открывающего путь для прогресса биологической организации (которое привело к появлению рептилий и парарептилий). Икс-элемент в биологической эволюции не может появиться из ничего, им могут стать только уже существующие структуры.

В данном случае снятие противоречия произошло за счёт развития уже у предков рептилий – сеймуриаморф - рёберного дыхания, когда с образованием грудной клетки воздух нагнетается в лёгкие за счёт действия межрёберных мышц. Появление рёберного дыхания открыло путь быстрому совершенствованию организации: вслед за ним появляется последовательно много новых признаков, каждый из которых причинно обусловлен появлением предыдущего.²

Приспособление, которое позволяет снять противоречие, «закрывавшее» эволюцию в данном направлении, получило название

¹ Интенсивность дыхания можно оценить, скажем, по количеству кислорода, потребляемого в единицу времени на единицу массы.

² Дыханием черепах, относимых к параллельной ветви парарептилий, имеет некоторые особенности. Развитие панциря, прирастание к нему рёбер блокирует обычный механизм вентиляции лёгких. У черепах развито своеобразное диафрагмальное дыхание: имеется 4 пары мышечных перепонки в вырезках панциря, движение которых увеличивает внутренний объём. Неизвестно, насколько такой способ дыхания был присущ вымершим группам парарептилий..

ключевого ароморфоза (автор термина – Н.Н.Иорданский^{xlviii}). После этого начинается последовательное «собрание» новых признаков, дающих более высокий уровень организации таксона. Повидимому, появление каждого крупного таксона осуществляется именно через ключевой ароморфоз. К нему «толкает» необходимость снятия противоречий предшествующей организации.

Пример отщепления от земноводных рептилий и парарептилий достаточно наглядно иллюстрирует представление о противоречии как движущей силе развития. Данный пример не является какой-то редкостью - обычно чем лучше находки палеонтологов воспроизводят все детали происхождения какой-либо группы, тем отчётливее вырисовывается ход событий, связанных с конструктивным противоречием.

Но несмотря на видимый триумф этого представления остановимся и задумаем. В неорганическом мире мы видим лишь противодействие физических сил, но не логическое противоречие. В органическом мире мы обычно замечаем логическое противоречие лишь тогда, когда рассматриваем ход эволюции и его причины. В отдельном организме, как правило, заметны лишь противодействующие друг другу силы. Описать устройство отдельного организма можно с помощью понятий, которые не содержат внутренних, логических, противоречий. Откуда же возникают внутренне противоречивые понятия, развитие которых идёт за счёт этих внутренних противоречий?

Наше мышление обращено на окружающий мир, и можно ожидать, что в формах нашего мышления будут каким-то образом отражаться свойства этого мира. Но есть ли в *окружающем мире* что-то, соответствующее *противоречивым понятиям* (например, научным) и имеющее отношение к развитию окружающего мира, подобно тому, как внутренние противоречия понятия заставляют нас его развивать? Или логические противоречия возникают лишь в *нашей голове* в результате развития знаний об изменяющемся мире, а в самом мире их нет? Кант предпочёл бы второй ответ. Гегель и Маркс, пожалуй, сказали бы, что источник логических противоречий может находиться также и в окружающем мире, независимо от нашего познания, в той мере, в какой независимо от нас в окружающем мире существует *идеальное* (а понятие – лишь частный случай идеального).

Для Гегеля такой ответ неудивителен – он ведь был идеалистом. Гораздо интереснее разобраться, почему такой ответ был естественен для философии Маркса (это особенно важно для нас, поскольку его философия опирается на концепцию **природных оснований логических законов**). Попробуем дать объяснение этому с её позиций

– хотя бы потому, что оно, как исходящее из более слабых предположений, будет более убедительным¹. Для этого нам понадобится определение идеального.

Итак, мы встречаемся с идеальным^{xlviii} в том случае, когда один объект или явление (например, последовательность значков на бумаге или последовательность биохимических процессов в нашем мозгу) отражает существенные свойства или отношения иного, не похожего на него по своим физическим свойствам, объекта или явления. Это определение кажется мало что проясняющим. Как вообще можно говорить об отражении, если физические свойства отличаются? Кроме того, если мы пользуемся таким определением, то должны признать, что имеем дело с идеальным, например, и в том случае, когда последовательность нуклеотидов в ДНК отражает последовательность аминокислот в белке. Далеко не каждый философ готов с этим согласиться. Справиться с этими трудностями можно, если признать, что идеальное в окружающем мире существует там, где существует *воспроизводство*.

Рассмотрим аналогию, предложенную уже в XX веке математиком фон Нейманом. Как может быть устроен автомат, который способен воспроизводить такие же автоматы, тоже воспроизводящие автоматы (и так – бесконечно, пока не истощатся ресурсы)? Нейман показал, что такой автомат должен в качестве отдельной части содержать *инструкцию* о том, как ему следует собирать автоматы. Самовоспроизводящийся автомат должен также уметь скопировать эту инструкцию и заложить её в автомат нового поколения. Огрубляя аналогию, идеальное – это содержание инструкции. Понимать её должен сам автомат (посторонние понимать её могут, но не обязаны). Материал, на котором записана инструкция, менее важен, чем её содержание, поскольку инструкцию всё равно придётся переписывать. Более того, можно представить себе автомат, который понимает инструкцию, переписанную на разные носители (как, например, компьютер может работать с жестким диском и с дискетой). Копия, вкладываемая в новый автомат, это в определённом смысле та же самая инструкция, которая была, хотя это, конечно, уже иной материальный объект. Менее очевидно с точки зрения математика, что такая же ин-

¹ Давая это объяснение, авторы опираются на работы отечественных философов Э.В. Ильенкова и М.К.Петрова. Оба философа считали себя продолжателями традиции Маркса (Ильенкову была близка также философия Спинозы, а Петрову - философская традиция Аристотеля). Если не путать продолжателя с попугаем, то их самоопределение, видимо, было более чем точным.

струкция необходима и попросту для того, чтобы объект мог постоянно восстанавливать, воспроизводить сам себя и поддерживать и возобновлять текущие в нём процессы. А именно это приходится делать любому живому организму, а также обществу и отдельному человеку как личности. Для биологии традиционно сравнение живого организма с пламенем свечи – воспроизводится именно форма в аристотелевском понимании. Воспроизводство в общем случае не сводится к размножению, хотя когда-то в доисторические времена именно появление генотипа, появление идеального, видимо создало предпосылки для того, чтобы организмы смогли размножаться.

Известный пример воспроизводства – воспроизводство живых организмов. Роль инструкции играет ДНК. А *генотип* организма (смысл записи в ДНК) – это уже содержание инструкции. Значительные изменения в ДНК могут почти не отразиться на *фенотипе*, а некоторые небольшие изменения могут отразиться очень сильно. То есть генотип, как это ни странно, – тоже идеальное.

Вопрос 3. Приведите примеры того, каким образом различные изменения в ДНК могут быть связаны с изменениями фенотипа организма или, наоборот, никак не менять фенотип.

Понятия, связанные с воспроизводством организмов, отражают не только материальные структуры, но и идеальное. Например, понятие приспособленности *ничего* не говорит о материальных свойствах самого организма (они могут быть любыми), а лишь позволяет сравнивать его с другими организмами в данных конкретных условиях. Мы уже говорили о том, что отбор, по сути дела, оперирует не с вещами, а с именами вещей.

Без понимания того, какое именно идеальное направляет воспроизводство определённых отношений, невозможно разобраться, как эти отношения устроены, какие их трансформации возможны. Например, с формальной точки зрения брачная система большинства видов дятлов – это моногамия с некоторыми отклонениями. Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что основой для построения социальной системы дятлов являются вовсе не их брачные отношения. В их случае брачные связи являются менее существенными по сравнению с территориальными связями владельцев соседних участков. . Образование пары весной требует успешного занятия территории осенью и активной охраны/устойчивого использования её всю зиму. Пары образуются объединением участков партнёров, сильно реже – оседанием нетерриториальной птицы на участок оди-

ночки, недавно потерявшей пару. Потеря территории часто означает распад пары, которая становится предельно уязвимой к токованию третьей птицы. Во время насиживания и, особенно, выкармливания птенцов между самцом и самкой в паре развивается сильный антагонизм. Родители, появляясь у гнезда с кормом, способны атаковать друг друга и могут настолько увлечься данной атакой, что съедают корм, предназначенный птенцам. Очень часто один из родителей (именно относящийся к доминирующему полу в системе брачного доминирования) дезертирует за несколько дней до вылета слётков, а потом возвращается на прежнюю территорию. Иными словами, особенности брачных связей полностью определяются здесь особенностями связей территориальных. Если какие-то причины например, изобилие корма, приводят к скоплению большого числа птиц на меньшей территории и их активному взаимодействию, то моногамные отношения преобразуются в коммунальные, где группа охраняет общую территорию, все самки спариваются со всеми самцами (кроме помощников) и несутся в общее гнездо. Это происходит, например, у северных рас желудёвого дятла, которые на зиму запасают огромное количество желудей в специально выдолбленных стволах-хранилищах, Центральноамериканские подвиды того же вида для которых запасание такого количества корма нехарактерно, гнездятся обычными территориальными парами. Таким образом, та видовая норма (идеальное), которая направляет развёртывание соответствующих социальных структур, у дятлов находится в сфере не брачного, а территориального поведения.

В этом-то идеальном, направляющем развитие системы, тоже возможны противоречия. Как в силу того, что в нём отражены противоречивые требования, которым необходимо удовлетворить для сохранения системы (индивида, сообщества, общества), так и в силу того, что в нём отражена история системы. Например, для большинства родов каракалпаков была характерна так называемая экзогамия, когда жена должна была принадлежать к иному роду, чем род мужа. Однако в одном из родов это требование регулярно нарушалось. Выяснилось, что раньше это было отдельное племя (внутри которого браки уже разрешались), но в результате падения численности оно превратилось в род.^{xlix}

В процессе воспроизводства системы существующие противоречия выявляются. В поведении животных, например, мы нередко встречаемся с конфликтом мотиваций, скажем, при уходе за потомством поведение часто влияет и брачная мотивация, требующая сближения партнёров, и территориальная мотивация, требующая атаковать или бежать. Результатом бесплодного затягивания такого взаимодейст-

вия является сильный стресс участников или/и значительный риск того, что ухаживание закончится дракой или попыткой преждевременной, травмирующей самку копуляции. В эволюции видов наличие данных противоречий приводит к появлению специальных демонстраций, ритуализированный обмен которыми позволяет разрешить конфликт без подобных последствий. Таким образом, противоречия действительно приводят к развитию всей системы, в том числе за счёт усложнения её идеального.

Как мы видим из подобных примеров, идеальное не обязательно должно осознаваться и рефлексироваться воспроизводящейся системой или её элементами. Обмен демонстрациями, например, как правило, является инстинктивным поведением. Тем не менее, в человеческом обществе идеальное, которое обеспечивает воспроизводство его материальной и духовной культуры, обычно в той или иной степени осознаётся и рефлексивируется. Разбирая примеры из главы 12 мы уже видели, каким образом наличие идеального объекта может влиять на осмысление людьми различных явлений и на их поведение. Приведём теперь пример того, как элементы духовной культуры могут формировать особенности членов общества и их отношения. В воспитание самурая могли входить бесполезные, на первый взгляд, вещи вроде каллиграфии. Однако по поводу их необходимости давалось разъяснение – написание иероглифов требует полного сосредоточения, готовности сделать то, что будет уже невозможно поправить, как в сражении. Это хороший пример того, что идеальное, запечатлённое в искусстве, традициях, общественных институтах точно так же служит воспроизводству людей вообще и людей определённого типа, как техническая документация обслуживает возможность поддерживать производство, несмотря на то, что любое оборудование рано или поздно приходит в негодность, а работающие на нём люди сменяются. И как утрата технической документации и тех, кто способен в ней разобраться, в конце концов разрушает производство, утрата элементов духовной культуры способна разрушить всё общество.

Если в системе существует идеальное, то любые инновации сохраняются и могут повлиять на дальнейшую её эволюцию лишь в том случае, когда происходят изменения в идеальном – изменяется генотип, сдвигается связанная с ним видовая норма, меняется традиция, получают признание и «входят в оборот» научные и технические достижения. Конкретные механизмы таких изменений в каждом из этих случаев, естественно, различны.

Не следует, однако, забывать, что многие формирующие наше поведение воздействия со стороны идеального (например, предрассудки, стереотипы и проч.) без специальных усилий не осознаются и заставляют людей действовать механически, даже если их указания внутренне противоречивы. Например, один из существующих стереотипов отношений между полами предписывает мужчине непременно ухаживать за сколько-нибудь привлекательной женщиной (иначе какой же он мужчина), но при этом женщина, отвечающая на ухаживания, считается распутной (и недостойной внимания). Противоречивость этих предписаний, делающая ухаживание бессмысленным, обычно не осознаётся, пока не встаёт вопрос, как привлечь явно достойную женщину. Под властью предрассудков люди ведут себя так же, как направляемые инстинктом животные, хотя в данных случаях мы имеем дело вовсе не с инстинктом.

В той мере, в какой противоречия внутри идеального осознаются, возможен поиск путей их разрешения ещё в сфере идеального, до того, как они скажутся на воспроизводстве системы. Самая разумная стратегия – думать и действовать с опережением. И авторы будут счастливы, если наша книжка немного вам в этом поможет.

а.

Ответы к упражнениям

Глава 2.

1. {(Вася, дядя Лёша), (дядя Володя, дядя Сёма)...} Ответ на оба заданных вопроса - да. Пример первого случая: Вася - сын дяди Лёши и тёти Ани, соответствующие пары - (Вася, дядя Лёша), (Вася, тётя Аня). Пример второго случая: дядя Лёва - отец Мити и Вени, соответствующие пары - (Митя, дядя Лёва), (Веня, дядя Лёва).

Глава 4.

1. Тривиальный случай – когда два понятия указывают на один и тот же объект окружающего мира из-за наличия у него разных свойств. Пример: “столица России” и “самый большой город России”. Другой случай – понятия, в содержании которых есть отсылка к понятиям предыдущего типа: “москвич” и “столичный житель”. Наиболее интересный случай – понятия, совпадение которых по объёму можно показать логически. Пример: “тяжёлые планеты” и “планеты с атмосферой”. Подразумевается, что выделить и удержать атмосферу могут те и только те планеты, которые обладают достаточной массой.

2. Соответствующие возможности находятся между собой в отношении противоположности, а не противоречия. Есть третья возможность – отца я никогда не бил.

Глава 5.

1.. Два последних слова состоят только из букв, которые не изменяются при переворачивании. Мораль: мы можем не только не знать соответствующую закономерность, но и не догадываться о том, какая область науки может её объяснить. Пример – броуновское движение сначала было открыто на пыльце и спорах, и объяснение ему казалось разумным искать в области биологии. Однако сам же Броун показал, что мёртвые споры и просто мелкие частицы туши совершают такое же беспорядочное движение. Физическое объяснение явлению дали Смолуховский и Эйнштейн (тот самый). Причина заключается в случайных изменениях числа молекул, которые ударяются о частицу с разных её сторон. Ещё одна мораль: случайность тоже может быть причиной. В главе 20 мы ещё будем говорить о роли случайных отклонений от средних значений - флуктуаций - в развитии окружающего мира.

2. Разумнее всего занумеровать участки и приступить к случайному выбору 10 участков, на которых будет использован первый вариант агротехники (а на других десяти – второй). Можно несколько раз бросить монетку, а потом перевести последовательность решек (Р) и орлов (О) сначала в двоичную, а потом в десятичную систему. Пример перевода последовательности орлов и решек в двоичную и в десятичную систему: РООРР – 10011 – в десятичной системе это 19, поэтому берём участок №19. Можно воспользоваться *таблицей случайных чисел* или *генератором случайных чисел*, который есть в некоторых машинных программах.

Глава 6.

1. Как истинные или ложные нельзя оценить утверждения, в которых употреблены недостаточно хорошо определённые понятия. Большинство биологов согласится с утверждением: *“Двукрылые летают быстрее, чем чешуекрылые”*, однако хорошо бы точно определить, что оно означает. Варианты: все двукрылые способны развить большую скорость, чем все чешуекрылые (это явно не так); большинство двукрылых способны развить большую скорость, чем большинство чешуекрылых; самые быстрые двукрылые способны развить большую скорость, чем самые быстрые чешуекрылые и т. д. Определить всё абсолютно точно невозможно, в обычной речи многое опускается. Например, биологи при обсуждении приведённого выше высказывания обычно не рассматривают виды, лишённые крыльев. Частный случай недостаточно хорошо определённого высказывания – бессмысленное утверждение. Если мы слышим: *“Растения питаются соединениями азота”*, то следует помнить, что в обычном смысле (как животные или как гетеротрофы) растения вообще не питаются. Поэтому без специального определения, что означает здесь слово “питаться”, это утверждение бессмысленно.

Как истинные или ложные нельзя оценить также утверждения, содержащие *переменные*. Примеры: “Президент Франции – социалист” (непонятно, кто будет президентом на момент прочтения Вами этой книги), “ $x < 2$ ”, “Самый распространённый род в зоопланктоне озера Белое этим летом – дафнии”.

Глава 7.

1. Проверять это высказывание следует, пытаясь его опровергнуть. Поэтому в русско-тау-китянском словаре надо обратить внимание на перевод слов, означающих орудия труда (если некоторые из них не четырёхбуквенные, то высказывание опровергнуто), а в тау-китянско-русском – на перевод нечетырёхбуквенных слов (если какие-либо из них обозначают орудия труда, то высказывание тоже опровергнуто).

Глава 8.

1. С позиции формальной логики силлогизм неправомерен, поскольку существование привидений сомнительно, и исходя из него, нельзя что-либо доказывать.

2. Суждение верно – см. рис.27. , суждение неверно – см. рис.28. .

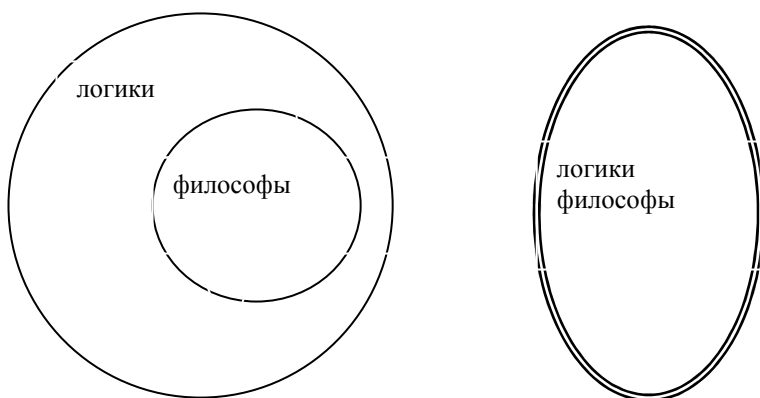


Рис.27.

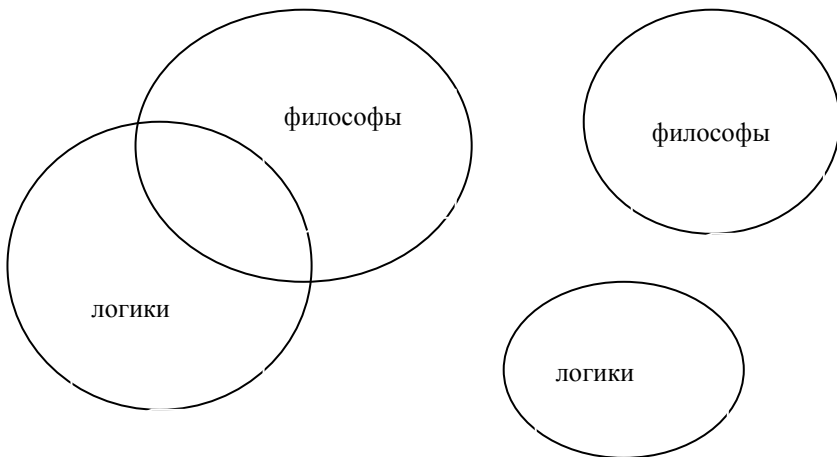


Рис.28.

3. Суждение верно – см. рис.29. , суждение неверно – см. рис.30.

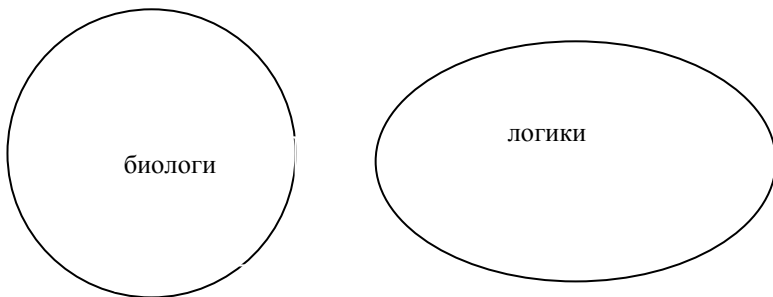


Рис.29.

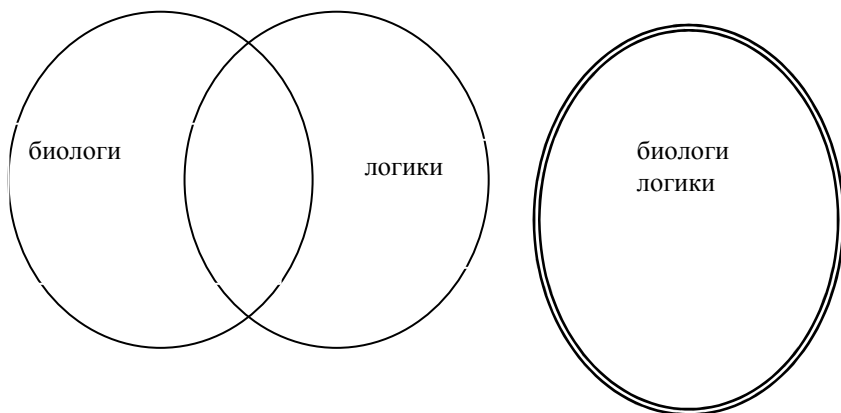


Рис.30.

4. Отрицание – “Ни один сенатор не является вором”. Диаграммы к исходному суждению – см. рис. 31.

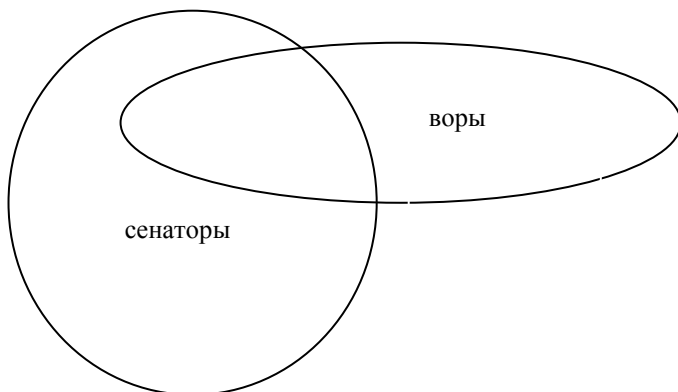


Рис.31.

5. См. рис. 32. Из диаграммы видно, что в этом случае может оказаться ложным как суждение “Некоторые логики – не математики”, так и суждение “Некоторые логики – математики”, а также всеобщие суждения «Все логики – не математики» и «Все логики – математики».

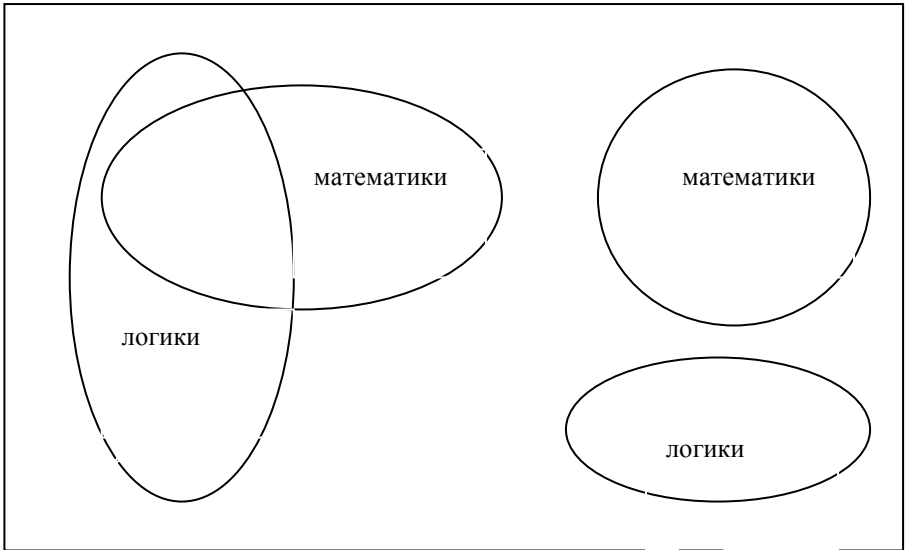


Рис.32.

Глава 9.

1. Эти высказывания относятся к свойствам не отдельных элементов, а множества как целого (его разнообразия, количества элементов во множестве, среднего значения какой-то характерной для элементов величины). Ни один из видов чайковых на всех континентах не встречается. Точно так же в высказывании “Насекомые играют важную роль в биогеоценозах” понятие “насекомые” выступает как *собрательное* (см. также вопрос 3 из главы 10).

Глава 10.

1. II фигура. В большой посылке средний термин является предикатом, в малой посылке средний термин тоже является предикатом.

1. EAE (“Если ни один настоящий учёный не способен исказить факты, и если все мошенники способны исказить факты, то ни один мошенник не может быть настоящим учёным”).

2. AEE (см. вопрос 16).

3. EIO (“Если ни один не мыслящий логически человек не может быть математиком, и если некоторые женщины являются математиками, то некоторые женщины мыслят логически”).

4. AOO (см. вопрос 16).

III фигура. В большой посылке средний термин является субъектом, в малой посылке средний термин тоже является субъектом.

1. AAI (“Если все биологи изучали зоологию, и если все биологи изучали химию, то некоторые люди, изучавшие химию, изучали и зоологию”).

2. IAI (“Если некоторые биологи изучали иммунологию, и если все биологи изучали ботанику, то некоторые люди, изучавшие ботанику, изучали иммунологию”).

3. AII (“Если все биологи изучали ботанику, и если некоторые биологи изучали иммунологию, то некоторые люди, изучавшие иммунологию, изучали ботанику”).

4. EAO (“Если ни один порядочный человек не способен на подлость, и если все порядочные люди совершают ошибки, то некоторые люди, совершающие ошибки, не способны на подлость”).

5. OAO (“Если некоторые прозаики не пишут стихов, и если все прозаики – литераторы, то некоторые литераторы не пишут стихов”).

6. EIO (“Если ни один слепорождённый не может быть живописцем, и если некоторые слепорождённые – скульпторы, то некоторые скульпторы не могут быть живописцами”).

IV фигура. В большой посылке средний термин является предикатом, в малой посылке средний термин является субъектом.

1. AAI (“Если все люди – приматы, и если все приматы – млекопитающие, то некоторые млекопитающие – люди”).

2. AEE (“Если все повилики – цветковые растения, и если ни одно цветковое растение не паразитирует на человеке, то ни один паразит человека – не повилика”).

3. IAI (“Если некоторые многоклеточные – ресничные черви, и если все ресничные черви несут на поверхности тела реснички, то некоторые покрытые ресничками существа – многоклеточные”).

4. EAO (“Если ни один гриб не относится к плоским червям, и если все плоские черви – паразиты, то некоторые паразиты – не грибы”).

5. ЕЮ (“Если ни один комар не относится к летучим мышам, и если некоторые летучие мыши – кровососы, то некоторые кровососы – не комары”).

Пусть неверно, что объём понятия М, которое входит в оба высказывания, целиком включён в объём понятия Р или S, и неверно, что объём понятия М целиком исключён из них. Тогда о связи М с S и о связи М с Р мы можем вынести только частные суждения (“Некоторые М есть S”, “Некоторые М не есть S”, “Некоторые S есть М”, “Некоторые S не есть М”, “Некоторые М есть Р”, “Некоторые М не есть Р”, “Некоторые Р есть М”, “Некоторые Р не есть М”). А из двух частных суждений никакое заключение не следует.

Глава 11.

1. На латыни христианские философы писали в странах, куда христианство пришло из Рима. Там, куда христианство пришло из Византии, писали по-гречески, сирийски, армянски или церковнославянски (поскольку в Византии терпимее относились к переводу Священного Писания на другие языки). В средневековой Испании было очень сильно влияние арабской и еврейской культуры, поэтому даже некоторые христианские философы в Испании писали на арабском языке. Китайские христиане были сильно отдалены от единоверцев и писали по-китайски.

2. Листья однодольных обычно имеют параллельное или дуговидное жилкование, как правило, не расчленены на черешок и пластинку, первичный корешок рано отмирает, поэтому корневая система мочковатая. Есть и другие, менее известные признаки. Для всех этих закономерностей имеются исключения, например, у листьев вороньего глаза жилкование перистое. Однако если мы, воспользовавшись этими признаками, выделим однодольные растения хотя бы приблизительно, то обнаружим и другие признаки однодольных, характерные уже для органов размножения. В частности, число чашелистиков и лепестков венчика (или листочков простого околоцветника), а также тычинок у них обычно кратно трем (к сожалению, у вороньего глаза это число варьирует), а в семени одна семядоля (вот тут вороний глаз – типичное однодольное). К тому же майник двулистный, растущий в наших хвойных и смешанных лесах, подавляющее большинство ботаников сочтёт явным, хотя и не очень близким, родственником вороньего глаза. А майник – по всем признакам типичное однодольное.

Глава 15.

1. Многие предикаты, относящиеся к ближайшему роду, не свойственны более отдалённому. Поэтому при использовании таких определений мы теряем большое количество информации. Скажем, при использовании приведённого определения мы уже не сможем доказать, что человек способен к размножению, поскольку не все физические тела к нему способны.

Глава 17.

1. Если никакое **S** и **P** не есть **M**, то никакое **M** и **S** не есть **P**. Поэтому такое животное не может постоянно активно двигаться.

Глава 18.

1.1.

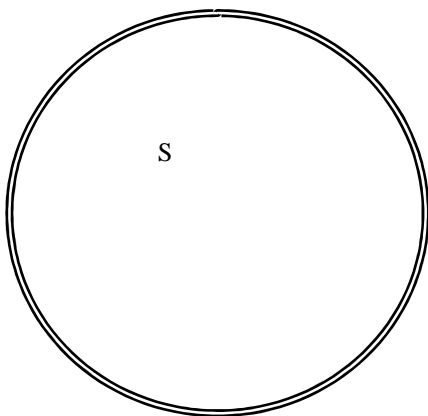


Рис.33.

2.

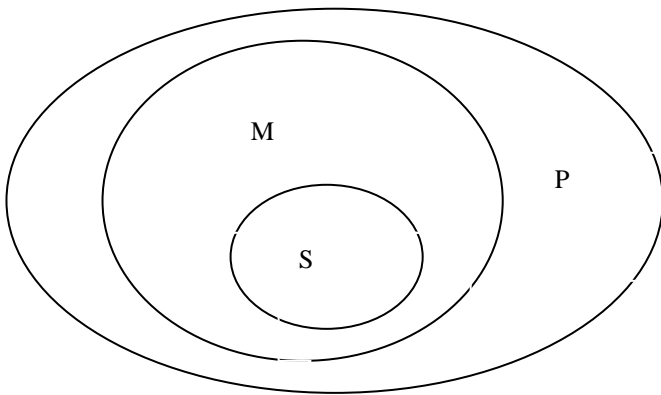


Рис.34.

3.

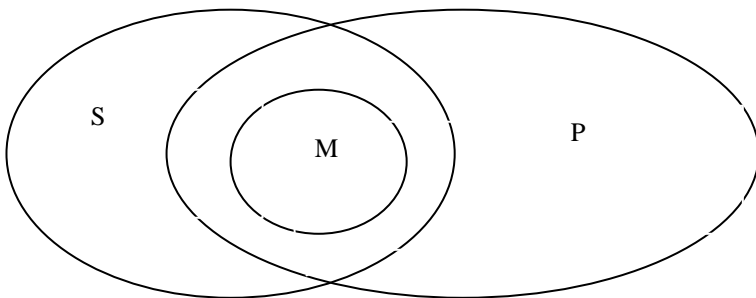


Рис.35.

4.

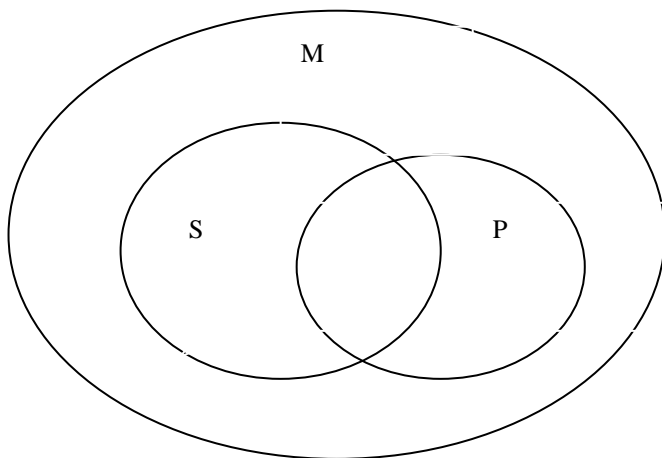


Рис.36.

5.

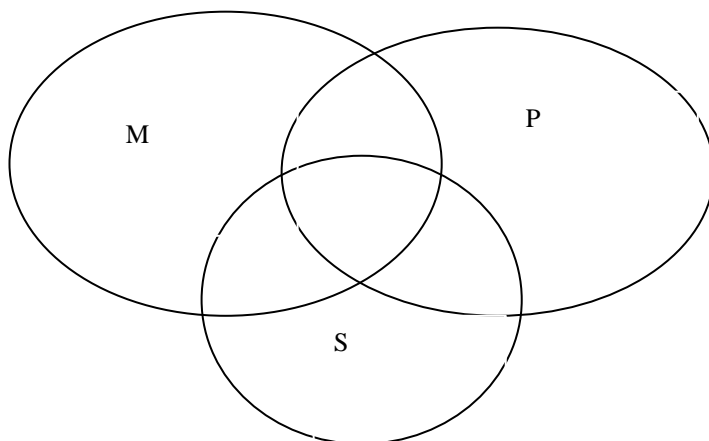


Рис.37.

6.

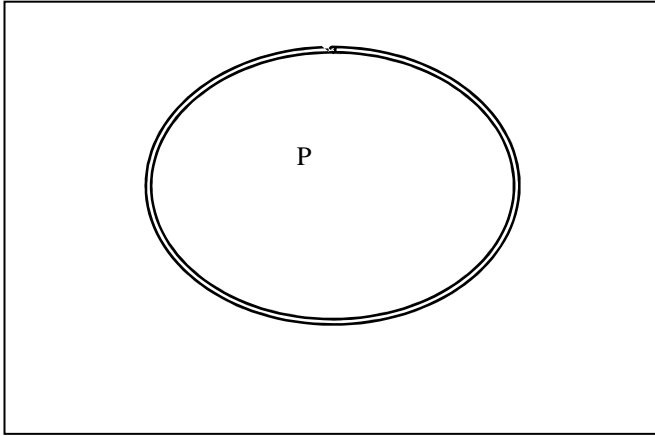


Рис.38.

7.

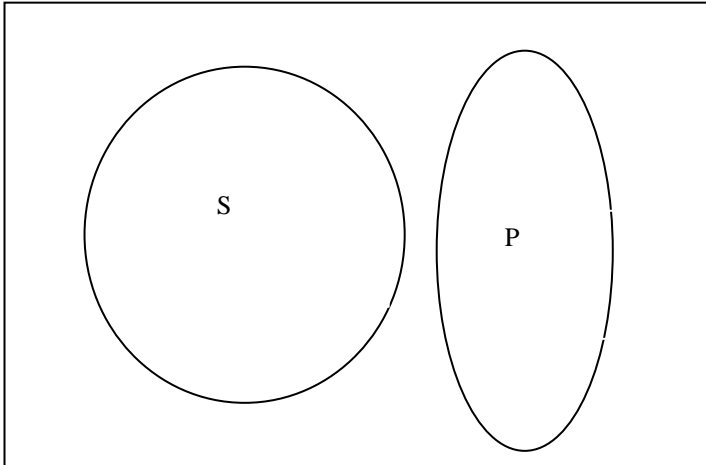


Рис.39.

9.

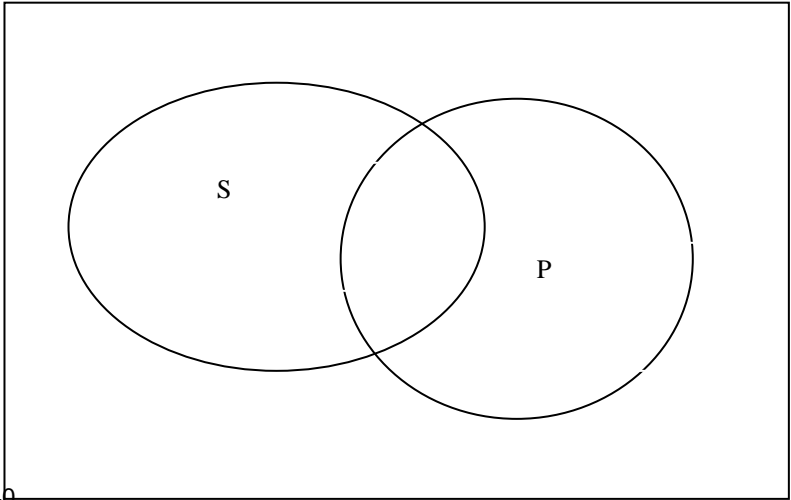


Рис.40.

2. Дистрибутивный закон: искомые множества – зелёного цвета.

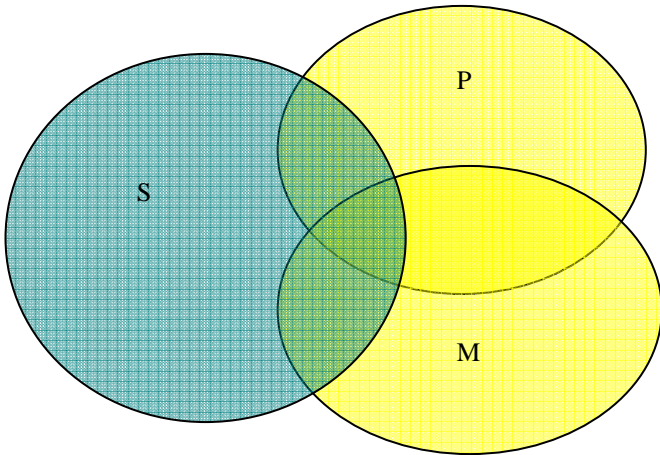


Рис.41.

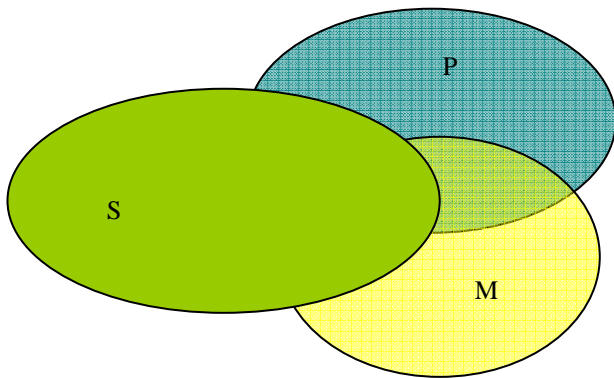


Рис.42.

Закон де Моргана.

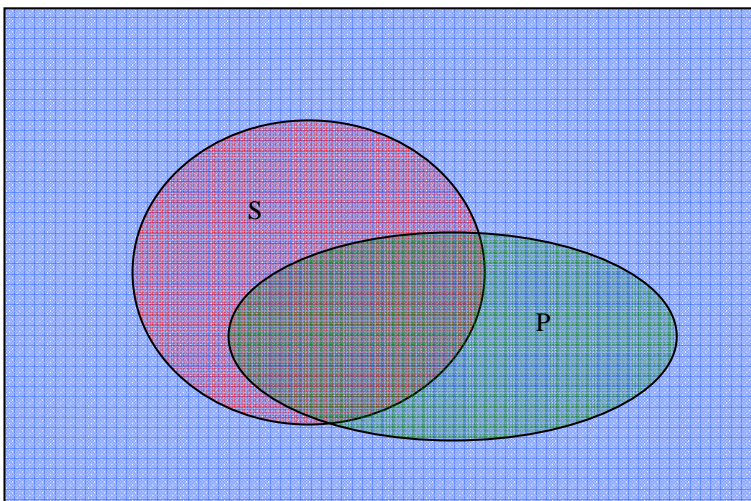


Рис.43.

Глава 19.

1. Риск рождения больного ребёнка тоже снизился почти вдвое – примерно до 0,026.

Глава 20.

1.

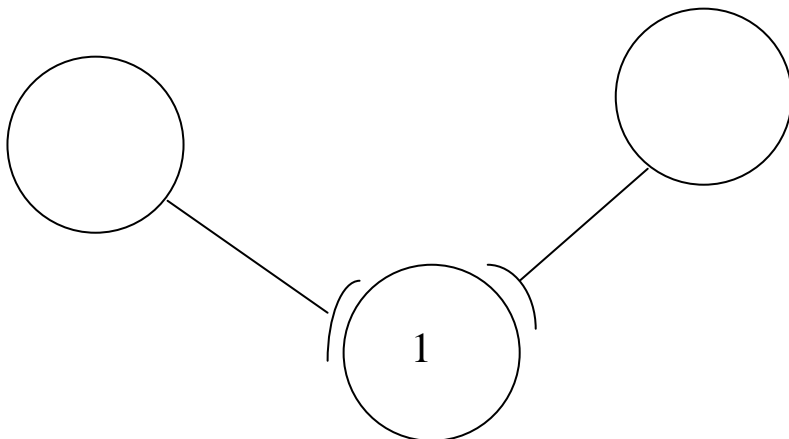


Рис.44. «Или».

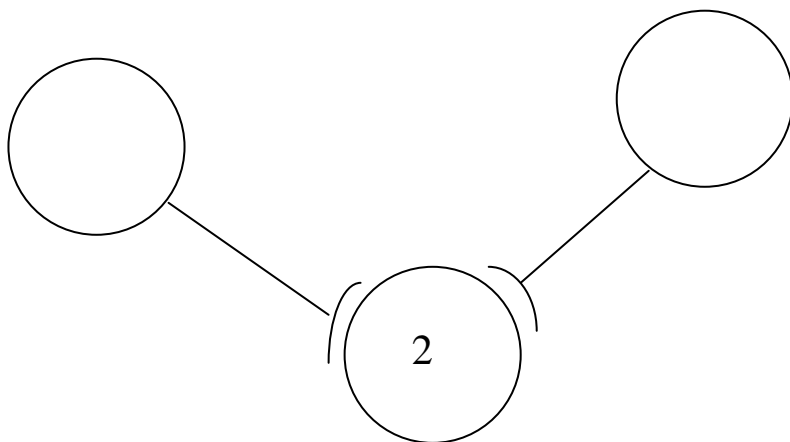


Рис.45. «И».

2.

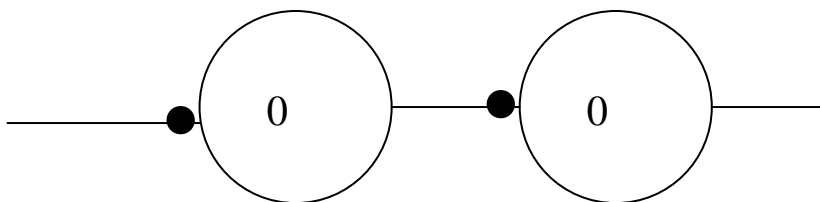


Рис.46.

Глава 21.

1. Возможный пример многоместного отношения - “число a является произведением числа b и числа c ”. В соответствующее множество входят, например, тройки $(12, 3, 4)$, $(12, 2, 6)$, $(50, 5, 10)$, $(50, 10, 5)$.

Пример одиннадцатиместного отношения - “ a, b, \dots, k ” составляли когда-либо футбольную команду. Пример соответствующего набора - (Жердев - капитан, Чуб - вратарь, Глаголев - нападающий, ..., Шипунов - защитник).

2. Отношение не является ни рефлексивным, ни антирефлексивным, поскольку есть птицы, выдалбливающие себе дупла сами, и есть те, которые на это неспособны и пользуются чужими дуплами.

3. Отношение не является ни симметричным (поскольку филин питается мышами, но мыши не питаются филинами), ни асимметричным (поскольку щуки питаются щуками), ни антисимметричным (поскольку тигр поедает красного волка, но при этом и красный волк может съесть тигра (несмотря на меньшие размеры красные волки могут справиться с тигром группой или поймать старого)).

Глава 22.

1. Предположим, что существует антирефлексивное и транзитивное отношение, которое не является асимметричным. Это означает, что имеется хотя бы одна пара элементов a и b таких, что a связано этим отношением с b , $a b - s a$. Поскольку отношение транзитивно, то отсюда следует, что a связано этим отношением само с собой. Но ведь данное отношение антирефлексивно! Мы пришли к противоречию.

2. Среди натуральных чисел нет наибольшего элемента, хотя его можно пронумеровать. А множество действительных чисел на отрезке $[0, 1]$, как доказывается в теории множеств, вообще нельзя пронумеровать каким бы то ни было способом (в некоторых математических классах соответствующее доказательство изучают), хотя сравнить любые два числа на этом отрезке можно.

3. Пример - самбо (правда, это не олимпийский вид спорта). Как в любой борьбе, здесь существуют весовые категории, причём соревнования устраиваются отдельно для мужчин и для женщин.

4. Древесный порядок будет нарушен, если два прямых потомка одного человека вступят в брак между собой.

5. В этом случае "самый старший" элемент не будет единственным.

6. Для любой программы такие отношения установить нельзя, поскольку в программе обычно есть разветвления и циклы.

7. Данная иерархия не может относиться к какому-либо из видов порядка, поскольку отношение подчинения в ней не транзитивно.

8. Это – *древесный порядок*, поскольку заместители подчиняются приказам своего декана, но не приказам деканов других факультетов.

Глава 23.

1. Если считать его понятием, то множество всех понятий нам придётся дополнить – а после этого дополнять снова и снова.

Ответы к вопросам и задачам.

Глава 2.

В1. Конечно же, элементами этого множества являются **виды** с характерными для них особенностями. Конкретный Тузик может всему предпочитать овсянку, но строение его зубов явно свидетельствует в пользу принадлежности к одному из видов хищных.

В3. а) Соответствующее понятие - "передняя конечность" - у мышей это передняя лапа, у моржей - лапа, у китов передние конечности напоминают весло и служат рулями глубины (просто ответ "плавник" не годится, так как есть ещё спинной и хвостовой плавники) .

б) Соответствующее понятие - "окончательный хозяин". У печёночного сосальщика это рогатый скот, у малярийного плазмодия - комар.

в) Соответствующее понятие - "основной способ получения энергии". Предлагаемый некоторыми школьниками ответ "газообмен" не подходит, поскольку растения не только фотосинтезируют, но и дышат, кроме того, существуют и другие процессы газообмена.

31. Когда мы рассматриваем не просто две передних конечности, а два крыла, должна, видимо, идти речь о гомологии не только скелета, но и всех летательных приспособлений. Кроме скелета передних конечностей в состав крыла входит ещё и летательная перепонка – и вот для неё гомологии у птиц и летучих мышей нет. Перепонка птиц натянута между кистью и плечом, перепонка летучих мышей – между предплечьем, плечом, фалангами второго-пятого пальца передних конечностей, боками тела, задними конечностями и хвостом..

Глава 4.

В4.. В случае а) мы наблюдаем только включение объёма одного множества в объём другого или исключение (т.е. отношение противоположности) - см. рис.47. В случае б) мы наблюдаем также пересечение объёмов - см. рис.48.

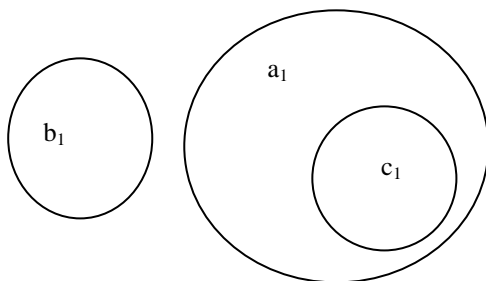


Рис.47.

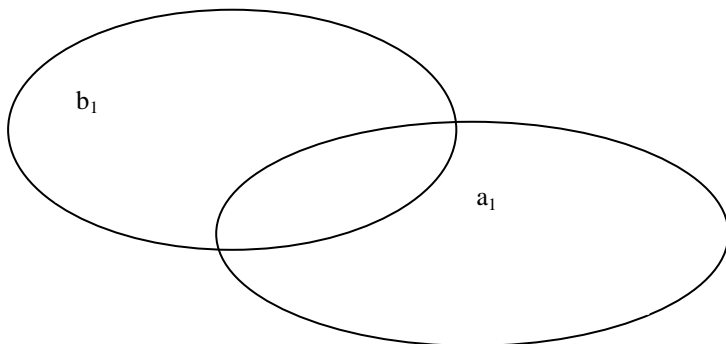


Рис.48.

31. Проблема в том, что к переходу на гетеротрофный тип питания в определённой ситуации способны все организмы.

Глава 5.

В2. Ясно, что в случаях б) и в) причина не в поваренной соли или блинах, а в их количестве. Менее очевидно, что от одной молекулы цианистого натрия тоже никто пока не умер. Понятно также, что роковую роль мог сыграть не двадцать пятый, а двадцать третий или двадцать шестой блин.

В3. Такая сложная структура, как лёгкие, ни у кого не может развиваться без соответствующего "генетического обеспечения" (у окуня, как бы он не поднялся к поверхности, лёгкие не разовьются). Но для полноценного развития лёгких аксолотля и лягушки заглатывание воздуха является дополнительным условием.

В4. Большое количество прохожих с зонтиками при нашем климате - следствие дождя. А дождь осложняет обстановку на дорогах.

В5. Белые аисты живут, как правило, вдали от крупных городов, где рождаемость на единицу населения выше.

Глава 7.

В2.1. "Я сейчас звонил на вокзал и узнал, что билет на электричку от Москвы до Рязани стоит 19 500 рублей" Вариант - "Я сейчас звонил на вокзал и узнал,

что прямой электрички Москва - Рязань нет. (В этом случае соответствующее высказывание можно рассматривать как бессмысленное.)"

2.2. Один из вариантов - "Измерили общие энергозатраты человека при различной температуре от 12 до 40°C. Оказалось, что минимальные энергозатраты (то есть энергозатраты при температуре, при которой человек не тратит энергию ни на обогрев, ни на понижение температуры тела) меньше энергозатрат при 12° С всего в 2 раза. Если бы человек тратил при 12° С 90% энергии на обогрев, то энергозатраты при температуре, когда он не мёрзнет и не потеет, упали бы в 10 раз." Другой вариант - "При 12° С измерили общие энергозатраты человека при неподвижном бодрствовании и во сне. Оказалось, что во сне они упали до 80%. Следовательно, только на активность мозга в состоянии бодрствования человек тратит более 20% энергии (более - поскольку активность мозга есть и во сне). Значит, он не может тратить на обогрев 90% энергии."

2.3. Один из вариантов - "Ни у кого из больных гриппом, погибших в автокатастрофе, в органах и тканях не были найдены инфузории туфельки" (Что ни у кого - важно, поскольку некоторые виды гриппа могут вызываться другими возбудителями.) Другой вариант - "Деление инфузории туфельки уже при 33°C практически прекращается, а у человека температура всё-таки 36°C." Третий вариант - "Те аквариумисты, которые начали разводить инфузорию туфельку для своих мальков, чаще других аквариумистов болеть не стали."

2.4. "Почти все люди, съевшие не менее 3 мухоморов, не испытали отравления независимо от способа приготовления мухоморов" (Что независимо - важно, поскольку при некоторых способах приготовления яд мог разложиться. Что почти все - тоже важно, поскольку встречаются люди, чувствительные к неядовитым веществам, и люди, устойчивые к ядам.)

Глава 8.

В2. Для опровержения первого высказывания достаточно привести любой пример недышащего животного. Подойдёт, скажем, любой паразит кишечника (аскариды и пр.). Для опровержения второго высказывания достаточно привести любой пример амфибии, которая заботится о потомстве, например, пипа вынашивает икринки на спине.

Глава 10.

В1.16. а) Если ни одно Р не есть М ("если ни один дошкольник не знает высшей математики"), то ни одно М не есть Р ("ни один человек, знающий высшую математику - не дошкольник"). Используем второй модус (ЕАЕ) первой фигуры:

Если ни одно М не есть Р ("ни один человек, знающий высшую математику - не дошкольник"), и если все S есть М ("все физики знают высшую математику"), то ни одно S не есть Р ("ни один дошкольник не является физиком").

б) Предположим, что высказывание "Некоторые S не есть Р." ("Некоторые летательные аппараты - не самолёты.") является ложным. Его отрицание -

"Все S есть P." ("Все летательные аппараты - самолёты"). Используем первый модус (AAA) первой фигуры:

Если все P(M) есть M(P) ("все самолёты имеют мотор), и если все S(S) есть P(M) ("все летательные аппараты - самолёты"), то все S(S) есть M(P) ("все летательные аппараты имеют мотор").

Итак, мы пришли к выводу "Все S есть M" ("все летательные аппараты имеют мотор"), который является отрицанием малой посылки.

B2. 1) Посылки и заключение верны фактически, силлогизм верен логически, соответствует 1 модусу (AAA) I фигуры, см. рис.3.

2) Большая посылка фактически неверна, малая посылка и заключение фактически верны, силлогизм верен логически, соответствует 3 модусу (All) I фигуры, см. рис.4.

3) Фактическая верность большой посылки и заключения под вопросом, силлогизм верен логически, соответствует 2 (EAE) модусу I фигуры, см. рис.5. Дополнительный вопрос: как мы вообще составили понятие о мудрости, если ни один человек не мудрец? И как быть с изложенным в главе 8 требованием (каждому понятию, использованному в силлогизме, должно соответствовать непустое множество)? Верующий человек может сказать, что мудр Господь.

Если нам не хочется прибегать к этому аргументу, то возможный ответ - понятие о мудрости составлено при помощи идеализации, в отличие от понятия о привидении. Большинство людей проявляет какую-то степень мудрости хотя бы в некоторых ситуациях, но никто не бывает абсолютно мудрым постоянно.

4) Фактическая верность большой посылки под вопросом, малая посылка и заключение верны, силлогизм верен логически, соответствует 4 (EIO) модусу I фигуры, см. рис.6.

5) В данном случае, очевидно, предполагается, что мудрые люди существуют. Фактическая верность малой посылки и заключения под вопросом, силлогизм верен логически, соответствует 1(EAE) модусу II фигуры (см. также задачу 16), см. рис.7.

6) Посылки и заключение фактически верны, силлогизм построен неправильно. Аналог : "Если все приматы имеют позвоночник, и если некоторые млекопитающие - не приматы, то некоторые млекопитающие не имеют позвоночника."

7) Посылки и заключение фактически верны, силлогизм верен логически, соответствует 4 (AOO) модусу II фигуры (см. также задачу 16), см. рис.8.

8) Большая посылка фактически неверно, малая посылка и заключение фактически верны, силлогизм верен логически, соответствует 4 (EIO) модусу I фигуры, см. рис.9.

9) Посылки и заключение фактически верны, силлогизм построен неправильно. Аналог : "Если все приматы - млекопитающие, и если ни один грызун - не примат, то ни один грызун - не млекопитающее."

10) Высказывание "Ничто разумное - не неживое." можно упростить - "Всё разумное - живое". Получается силлогизм :

"Если всё разумное - живое, и если некоторые скалы - неживые, то некоторые скалы - неразумны". Посылки и заключение фактически верны, хотя малая посылка и заключение являются слишком слабыми - на самом деле верны

высказывания "Все скалы - неживые." и "Все скалы неразумны.". Силлогизм верен логически, соответствует 4 (АОО) модусу II фигуры (см. также задачу 16), рис. 10.

11) Большая посылка фактически верно, справедливость малой посылки и заключения под вопросом, но поскольку силлогизм верен логически, то если верна малая посылка, верно и заключение. Силлогизм соответствует 1 (ААI) модусу III фигуры. Те, кто не желает разбираться в III фигуре, могут воспользоваться следствием высказывания "Каждая ворона разумна". - "Некоторые разумные существа - вороны". Имеем силлогизм:

"Каждая ворона - птица, некоторые разумные существа - вороны, следовательно, некоторые разумные существа - птицы."(3(АII) модус I фигуры). См. рис. 11.

12) В большинстве современных систем люди принадлежат к отдельному семейству. Но дело даже не в этом, а в том, что силлогизм построен неправильно. Аналог : "Если каждый грызун - млекопитающее, и если каждый примат - млекопитающее, то каждый грызун - примат."

13) Запишем это высказывание в виде силлогизма:

"Всякая настоящая любовь - это чувство, которое заставляет страдать, моё чувство к Анне заставляет меня страдать, следовательно, моё чувство к Анне - любовь". Силлогизм построен неправильно (см.12). Один из школьников предложил также такой аналог :

"Всякая любовь заставляет страдать, чувство, которое я испытываю на уроке математики, заставляет меня страдать, следовательно, моё чувство к математике - любовь". Такое заключение совсем не обязательно.

В3. 1) Слово "ключ" в большой и в малой посылке соответствует разным понятиям.

2) Слово "тяжёлый" в большой и малой посылке тоже соответствует разным понятием, поскольку содержание этого предиката зависит от содержания субъекта (см. гл. 6). Интересно, что в большинстве языков мира одно и то же слово обозначает "трудный в исполнении" и "имеющий большой вес".

3) Местоимение "какой-то" не указывает на одного определённого человека. Поэтому и здесь содержание среднего термина в большой и в малой посылке отличается

4) Малая посылка содержит утверждение не о понятии "корова", а о слове, которым оно обозначается. Эти два случая лучше как-то различать, например: "'Корова" - слово русского языка", "Корову можно найти на лугу".

5) Понятие "книга" употреблено в большой посылке как собирательное - есть книги, которые поучают, но не развлекают, есть книги, которые развлекают, но не поучают, возможны и другие варианты. Но существование различных книг позволяет людям как учиться, так и развлекаться.

6) Один из возможных ответов - понятие "материя" употреблено в большой посылке и в малой посылке с разным содержанием (материя как философское понятие и материя, из которой можно что-то сшить). Возникает, однако, интересный вопрос - ведь сукно является одним из видов материи и в философском понимании этого слова, почему же заключение ошибочно? Можно ответить на этот вопрос так : в высказывании "Материя бесконечна" понятие мате-

рии употреблено как собирательное. Авторы, однако, предпочитают иной ответ - разное содержание (философское и обыденное) в большой посылке и в заключении имеет понятие "бесконечна". Бесконечность в философском понимании подразумевает бесконечность свойств и отношений, а не неограниченную длину.

Глава 13.

B2. Дыхание - получение энергии с помощью характерных биохимических реакций, в которых идёт окисление органических веществ (более глубокое, чем при гликолизе) и, как правило, используется кислород (на самом деле используется кислород (с образованием воды) только на последнем этапе дыхания, поэтому есть бактерии, использующие на этом этапе не кислород, а нитраты). Дыхание (в отличие от гликолиза) связано с клеточной мембраной (у бактерий) и с внутренней мембраной митохондрий (у эукариот). Дышат не только животные, и не только те, у кого есть органы дыхания.

Хищничество - это питание активной добычей, сравнимой по размеру с самим хищником, что требует специальных приспособлений для её захвата и употребления в пищу.

31. Использованное деление выглядит совершенно несоразмерным. Учтём однако, что прежде всего речь идёт о заказчиках-христианах: еврейские и мусульманские похороны происходят без гроба, представителей других вер в Петербурге 19 века практически не было. Среди христиан были православные (ими были практически все русские, а также другие подданные Российской Империи, так как их переход в другую веру был запрещён или сильно осложнён), католики (главным образом иностранцы), протестанты-немцы (прочие представители протестантов – шведы или датчане в глазах простых жителей тоже были «немцы», сюда же относились финны и эстонцы). Их требования к похоронам, видимо, несколько различались для каждой ветви христианства, кроме того, для особых случаев (например, при необходимости дальних перевозок) использовались металлические гробы. Таким образом, перед нами, в сущности, классификация по конфессиям, но по наличному, а не по всему возможному разнообразию. Кроме того, было применено и деление по другому основанию – прежде всего следовало бы разделить металлические гробы и гробы для похорон в соответствии с традиционным ритуалом конфессий. Однако и гробовщику, и его заказчику такая классификация видимо позволяла неплохо разбираться в наличном разнообразии заказов.

Глава 14.

B1. При использовании только уникальных признаков мы потратим на определение 1 000 минут - почти 17 часов. $1024=2^{10}$, поэтому при делении

каждый раз пополам мы должны пройти примерно 10 тез и антитез - итого 10 минут.

32. Серьезная проблема здесь состоит в том, что одна из жизненных стадий организма может быть паразитической, а другая – свободноживущей. Как быть, например, с беззубкой?

33. Возможное генетическое (что это такое – см. главу 16) определение смеха таково: смех – это ритуализованный укус, приспособленный у челоака (но не у шимпанзе) для задач коммуникации (включая агрессивную – обличающий или угрожающий смех) (А.Казинцев).

Глава 18.

B1. Демонстрации птиц, очевидно, могут происходить одновременно хотя бы с какой-то одной из двух других форм поведения или с обеими сразу.

B2. 205.

B3. Например: («млекопитающие» ∪ «птицы») ∩ («колония») ∩ «узнавание родственников»

или

(«млекопитающие» ∩ («колония»)) ∩ «узнавание родственников» ∪ («птицы» ∩ («колония»)) ∩ «узнавание родственников»).

31. А) Мы видим, что не указано, в каком количестве погадок есть только остатки насекомых и млекопитающих. Это число можно определить, вычтя все остальные данные из общего числа погадок,

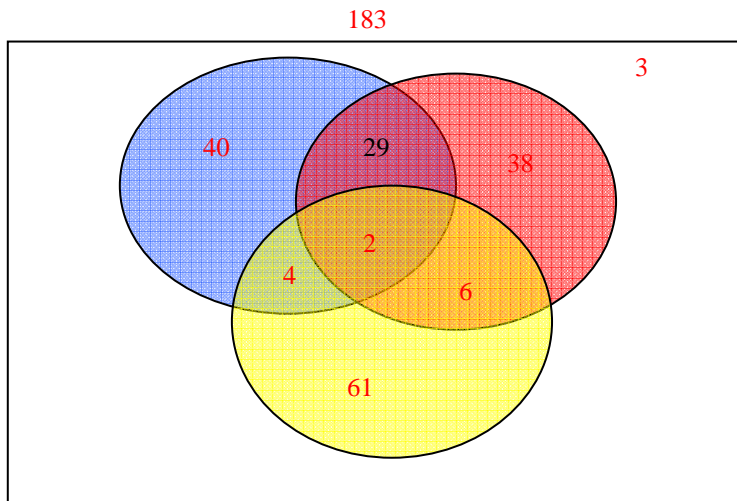


Рис.49.

Б) По закону идемпотентности правую часть можно записать как
 $(S \cap P') \cup (S \cap P) \cup (S \cap P) \cup (S' \cap P) =$
 $= (S \cap (P' \cup P)) \cup ((S \cup S') \cap P) =$
 $= S \cup P$, поскольку $(P' \cup P)$ и $(S \cup S')$ – универсальное множество.

Согласно изученным ранее законам,

$$(S \cap P') \cap (S \cap P) = S \cap P' \cap S \cap P = (S \cap S) \cap (P' \cap P) = S \cap \emptyset = \emptyset$$

Аналогично,

$$(S \cap P) \cap (S' \cap P) = \emptyset$$

$$(S \cap P') \cap (S' \cap P) = S \cap P' \cap S' \cap P = (S \cap S') \cap (P' \cap P) = \emptyset \cap \emptyset = \emptyset$$

В) Остатки насекомых встречаются вместе с остатками злаков в $4+2=6$ погадках. Остатки млекопитающих встречаются вместе с остатками злаков в $6+2=8$ погадках. Складывать эти числа нельзя, поскольку в 2 погадках есть все три типа остатков, и тогда мы посчитаем их дважды.

Г) Доля погадок с растительными остатками среди всех погадок –
 $4+2+6+61/183=73/183$ – примерно 0,4

Доля погадок с растительными остатками среди погадок, в которых есть также остатки животных –

$$4+2+6/40+29+38+2+4+6=12/119$$
 – примерно 0,1.

Представляется, что доли отличаются весьма значительно (и в ожидаемую исследователем сторону), хотя для того, чтобы строго это показать, необходимо использование математической статистики.

Глава 19.

В1. $A \Rightarrow B; (B \wedge C) \Rightarrow D =$ «Покрытие кожи человека непроницаемой плёнкой уменьшает поступление кислорода больше, чем в два раза, то есть кожа человека вносит в дыхание больший вклад, чем одно лёгкое.»

D, по всей видимости, ложно, а значит ложно и $B \wedge C$. Поскольку A истинно, то B тоже истинно, при этом $B \wedge C$ может быть ложно только в том случае, если ложно C. Таким образом, неверно, что покрытие кожи человека непроницаемой плёнкой ведёт к гибели от недостатка кислорода.

31. Если близнецы – однояйцевые (событие A), то вероятность того, что они однополые (событие B) – 1. Если близнецы разнояйцевые (событие A_1), то вероятность того, что они однополые – 0,5, того, что они разнополые (событие B_1) – тоже 0, 5.

$P(A/B) = (0,4 \times 1) / 0,6$ – примерно 0,67. -

Глава 20.

В1.

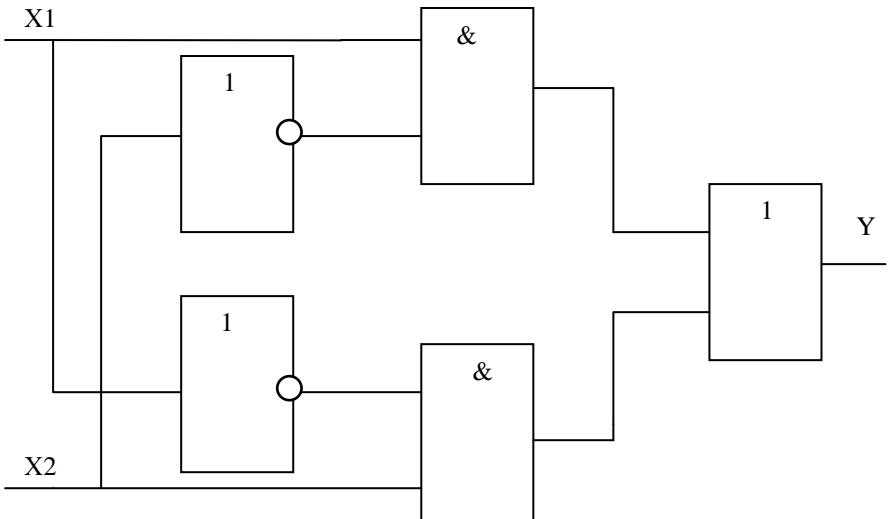


Рис.50.

В2. Для преобразования тормозящего сигнала в возбуждающий можно применить схему из упражнения 2. Сами же клетки, подающие сигнал на четыре разных мотонейрона поочередно, должны быть соединены таким образом:

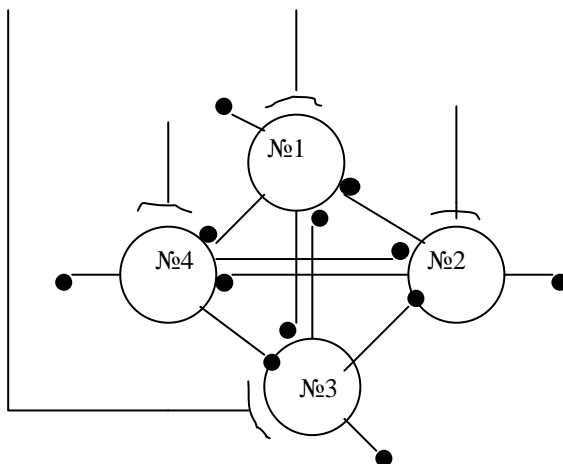


Рис.53.

31. Предлагаем Вам самостоятельно определить, какие законы были использованы для преобразований..

А) $A \wedge B \wedge \sim C \wedge \sim D = (A \wedge \sim C) \wedge (B \wedge \sim D)$

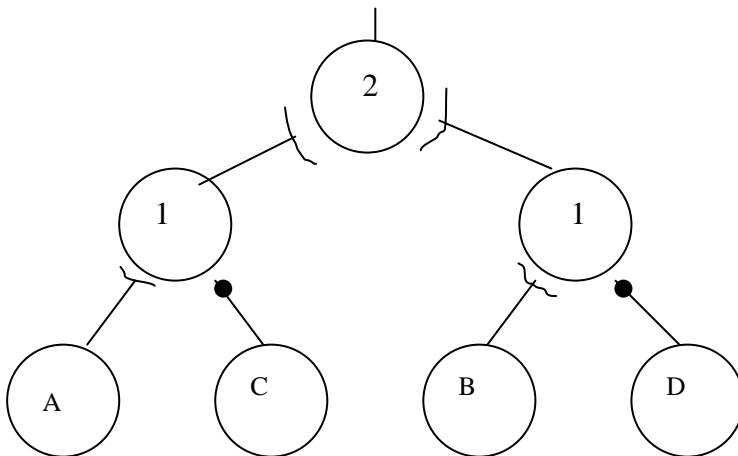


Рис.51

$$\begin{aligned}
 & \text{Б) } (E \wedge F \wedge J) \vee (E \wedge F \wedge \sim J) \vee (E \wedge \sim F \wedge \sim J) \vee (\sim E \wedge F \wedge \sim J) = \\
 & = ((E \wedge F \wedge J) \vee (E \wedge F \wedge \sim J)) \vee ((E \wedge \sim F \wedge \sim J) \vee (\sim E \wedge F \wedge \sim J)) = \\
 & = ((E \wedge F) \wedge (J \vee \sim J)) \vee (((E \wedge \sim F) \vee (\sim E \wedge F)) \wedge \sim J) = \\
 & = (E \wedge F) \vee ((E \vee F) \wedge \sim J)
 \end{aligned}$$

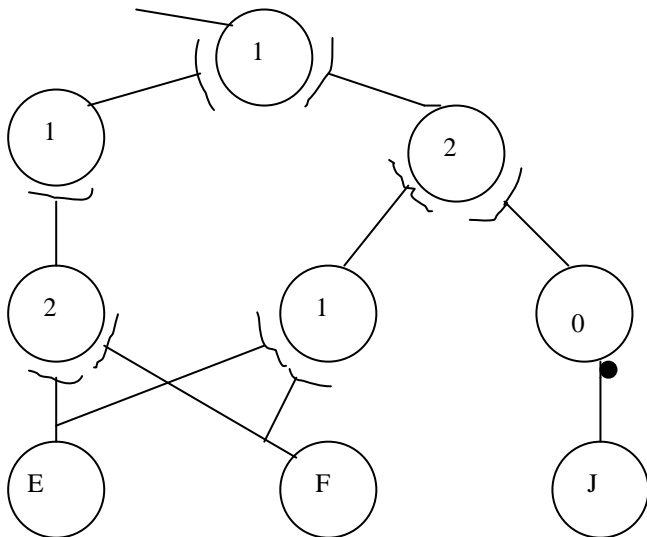


Рис.52

Глава 21.

V1. Отношение «А – большая часть В» не является транзитивным. 6 – большая часть 10, а 4 – большая часть 6, при этом 4 – не большая часть 10.

31. Теряется та информация, что многие признаки птиц унаследованы именно от рептилий, причём достаточно продвинутых (например, сухая кожа с малым количеством желёз).

Глава 22.

V1. Соответствует, так как каждый элемент может принадлежать только одному классу эквивалентности.

V2. Нельзя, так как конкурировать можно за разные ресурсы.

V3. У несовместимых плазмид сходны последовательности ДНК которые регулируют их размножение в клетке (неограниченное размножение вредно не только для клетки, но и для самой плазмиды). Поэтому плазида подавляет также и размножение несовместимой «соседки», оказавшись с ней в одной клетке. Таким образом, деление плазмид по классам несовместимости – это деление на классы эквивалентности, то есть настоящая классификация. Оказывается, у плазмид одного класса обычно сходны также участки ДНК, обеспечивающие их перенос в другую клетку.

V4. а) b, б) а. Биологи обычно рисуют деревья таким образом, чтобы подчеркнуть, что для каждого из пары современных видов прошло одинаковое время после их отделения от ближайшего общего предка,

в) i, г) h,

д) q, e) s.

В биологии принято рисовать деревья, исходя из предположения, что одновременно расходятся два вида (или две более крупные группы). Даже если две точки разветвления находятся так близко, что сливаются и на практике неотличимы, разветвление в каждой точке всё-таки должно быть двойным (а не тройным или четверным, так что дерево с рис. не подходит). На этом принципе построено и большинство методов реконструкции родословных деревьев.

V5. Примером несовершенного порядка может быть поселение территориальных птиц, имеющих помощников. Территориальные птицы могут быть связаны линейной иерархией (отношением строгого совершенного порядка), даже если какие-то из них напрямую не конфликтуют, поскольку можно выстроить «цепочку» соседей с предсказуемым результатом конфликтующих друг с другом (транзитивность), а также с аналогичным результатом ранжировать птиц иными способами, которые здесь подробно обсуждаться не будут. Помощники могут вступать в конфликты с территориальными особями, но эти конфликты не связаны с борьбой за территорию, не сопровождаются ритуализованными демонстрациями и не приводят к результатам, позволяющим включить помощников в общую иерархию. Однако между самими помощниками иерархия, видимо, существует – «позиция» при той или иной паре явно в разной степени перспективна с точки зрения возможности получить впоследствии роль территориальной особи, причём помощники иногда направленно меняют «позиции».

При сильно индивидуализированных отношениях, характерных, например, для приматов, возможно нарушение транзитивности типа «А при конфликтах подчиняется Б, Б подчиняется В, В подчиняется А». Определённые закономерности характерны и для такого рода отношений, но с математической точки зрения отношениями порядка они не являются.

31. Отношением сходство оно, очевидно, является, так как рефлексивно и симметрично. Остаётся ответить на вопрос, транзитивно ли оно. В общем случае, видимо, нет.

Хороший пример – череп зверозубых. В скелете зверозубых уже выделились те структуры, которые войдут в среднее ухо млекопитающих (квадратная кость – молоточек, сочленовная кость – наковальня), причём их расположение уже близко к расположению в среднем ухе млекопитающих. В то же время, по их связям и расположению ещё понятно, какие структуры скелета амфибий дали им начало. Но вот по скелету амфибий проследить гомологии с элементами среднего уха млекопитающих достаточно затруднительно – соответствующая часть нёбно-квадратного хряща уже связана со стремечком, но ещё не выделилась в квадратную кость, а сочленовная кость хотя и выделилась, но связана с совершенно другими частями скелета..

Строго говоря, выделяют гомологию морфологических структур разных организмов по их происхождению из одинаковых эмбриональных зачатков и их гомологию по положению в целом организме. Последняя постепенно нарушается при изменении плана строения. В то же время, сходные по строению и расположению структуры могут даже в пределах одного организма иметь разное происхождение. Так, ларвальные (личиночные) и постларвальные сегменты тела кольчатых червей устроены сходно, но закладываются по-разному, за счёт чего их мускулатура имеет разное происхождение.

32. Очевидно, рецепторы, подающие импульсы на один нейрон (они могут быть и его окончаниями, и самостоятельными клетками, в зависимости от типа чувствительности), должны быть расположены на соседних участках. Размеры таких зон могут быть, конечно, различны для разных мест.

С другой стороны, если у каждого нейрона будет своя «зона обслуживания», то сигналы от точек близких, но расположенным друг от друга через границу таких зон, будут восприниматься как два разных. Реалистичнее выглядит модель, в которой «зоны обслуживания» перекрываются с соседними, но при этом нейрон, из «зоны обслуживания» которого пришло больше всего сигналов, тормозит нейроны, на которые приходят импульсы из соседних зон (чтобы сигнал выделялся чётко). Проще всего осуществить такую идею с помощью нейронов, способных выдавать сигналы различной интенсивности. Во всяком случае, примерно так работает зрительная система.

Глава 23.

31. Приводим схемы, любезно предоставленные А.С.Паутианом. Читателю предлагается самостоятельно разобраться, у кого появились соответствующие эволюционные инновации и какие группы они характеризуют:

32. Не претендуя на полноту ответа, укажем, что для биогеоценозов преемственность в значительной степени обеспечивается неживыми компонентами (например, почвой), для науки – системой образования, дающей новых учёных.

33. Для организмов определённая преемственность должна связывать каждую из конструкций как целое, маловероятно заимствование извне отдельных частей и узлов (хотя см. пример лишайников). Для техники преемственность в большей степени связана с внешними причинами – это инерция мышления конструкторов (первые автомашины делали похожими на кареты), и ограничения, связанные с производством – та номенклатура деталей, которую уже производят и те технические сложности, которые мешают производить другие конструкции.

Глава 24.

В1. а) Под клеткой сначала понималась оболочка растительной клетки. Уже когда этим словом стали называть всю структуру, долгое время оставалось неочевидным, что клетки животных – тоже клетки, и имеют в своём устройстве больше общего, чем различного с растительными.

б) В начале развития иммунологии для Мечникова было очевидно, что иммунитет связан с клетками (например, фагоцитами), причём способность к иммунному ответу является врождённой для организма. Для Эрлиха было столь же очевидно, что иммунитет связан с веществами, циркулирующими в крови (антителами), причём способность давать иммунный ответ на определённые бактерии приобретает. Связать два представления удалось лишь тогда, когда выяснили, какие типы клеток и как участвуют в иммунном ответе (в том числе в производстве антител), какие их взаимодействия для этого необходимы. Эти же открытия помогли понять природу врождённого и приобретённого иммунитета.

31. Большая часть биохимических процессов внутри бактерии осуществляется за счёт диффузии, что предполагает небольшие размеры. В то же время такие процессы, как дыхание и фотосинтез, могут происходить только на мембране. Единственная мембрана в бактериальной клетке – наружная, причём в маленькой клетке и площадь её поверхности будет небольшой, и интенсивность этих процессов невелика. Выход – образовать протяжённые впячивания мембраны типа мезосом, иногда отпочковывающиеся от наружной мембраны, но в отличие от подобных структур эукариот неподвижные

(они могут только разрастаться). Ещё одна функция, требующая большой поверхности – секреция.

Оглавление

Предисловие стр.4

1. Предмет и задачи логики.

Формальная логика. Математическая логика стр.7

2. Понятия. Множества. Свойства и отношения стр.11

3. Объём и содержание понятия стр.17

4. Отношения между объёмами разных понятий стр.20

5. Причина и следствие. Случайность стр.29

6. Высказывания стр.36

7. Логическое следование высказываний стр.41

8. Категорические высказывания, их следствия и отрицания стр.51

9. Иные типы высказываний стр.55

10. Силлогизмы стр.57

11. Силлогизмы стр.68

12. Идеальный объект стр.75

13. Обобщение и ограничение понятия. Деление понятия стр.77

14. Определения понятий через род и видовое отличие. Виды признаков. Использование признаков в систематических определителях и диагнозах стр.82

15. Применение определений через род и видовое отличие. Отрицательные определения и определения, содержащие признак лишь части элементов множества стр.88

16. Генетические и операциональные определения. Стр.92

17. Пересечение и объединение в силлогистике. Расширенная силлогистика Стр.95
18. Булева алгебра стр.99
19. Алгебра высказываний стр.106.
20. Приложения алгебры высказываний в технике и биологии. Стр.112.
21. Парные отношения; их свойства с точки зрения математика. Рефлексивность. Симметричность. Транзитивность. Стр.125.
- 22.. Примеры парных отношений с точки зрения математика. Эквивалентность. Сходство. Порядок. Стр.128.

23. Изменение и развитие. Законы формальной логики и причины их нарушения. Стр.141.
24. Развитие научных понятий. Противоречия при определении объёма и содержания понятия. Противоречия как причина развития. Стр.147
25. Ответы к упражнениям стр.164
26. Ответы к вопросам и задачам. Стр.181.

Рекомендуемая литература.

- В.Ф.Асмус «Логика». – М.; Едиториал УРСС, 2001.
- А.А.Гетманова. Учебник логики: Со сборником задач. Учебник для ВУЗов. - М.: КноРус, 2006.
- А.А.Ивин, А.Л.Никифоров «Словарь по логике». – М.; Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 1997.
- Э.В Ильенков «Диалектическая логика. Очерки истории и теории». – М.: Политиздат, 1984.
- Н.Н.Иорданский «Эволюция жизни».- М.: Издательский центр «Академия», 2001.

К. Лоренц. «Оборотная сторона зеркала». - М.: Республика, 1998.

В.Н.Мельников «Логические задачи». – К.; Одесса: Выща шк., 1989.

М.К.Петров. «Язык, знак, культура». – М.: Наука. Главная редакция восточной литературы, 1991

В.Г.Черданцев. Морфогенез и эволюция. - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2003.

ⁱ О позиции Курбского см. И.Н. Костомаров «История Руси Великой», т.2. М.,: ООО «Мир книги», 2004.

Его книга по логике см. сайт <http://humanities.edu.ru/db/msg/25928>

ⁱⁱ См. по этому поводу работу Э.В Ильенкова. «Диалектическая логика. Очерки истории и теории», 1984 на сайте <http://caute.2084.ru/iljenkov/texts.html>. Можно рекомендовать также книгу С.Л.Рубинштейна «Бытие и сознание. Человек и мир». СПб.; Питер, 2003.

ⁱⁱⁱ В этой связи можно рекомендовать книгу Г.С.Розенберга, Д.Б.Гелашвили и Д.П.Мозгового «Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии». В отличие от большинства привычных учебников экологии, теории эволюции, и других биологических дисциплин, она начинается именно с логического исследования проблемы – как выделить объект экологических исследований? Как изменились представления об этом объекте за последние 30-50 лет? Какие причинно-следственные связи явлений и событий, установленные в полевых экологических исследованиях, можно отнести к эмпирическим зависимостям, а какие показывают на наличие новых законов природы, требуют обновления существующих теорий? Собственно, изложение любой науки для студентов должно начинаться именно с решения этих вопросов, и наличие такого подхода делает данную книгу уникальной.

^{iv} См. в этой связи «Оборотную сторону зеркала» К.Лоренца (М.: Республика, 1998) и книгу Дж.Гибсона «Экологический подход к зрительному восприятию». М.; Прогресс, 1988.

^v А.А.Любичев. О постулатах современного селектогенеза// Проблемы эволюции. Т.5. Новосибирск, 1975.

^{vi} Аристотель. Физика // Аристотель. Соч.: В 4 т. - М.: Мысль, 1981. - Т.3. - С.59-262.

^{vii} Ю.В.Чайковский. О природе случайности. - М.-Абакан: Центр системных исследований, 2004.

^{viii} В.Лефевр «Формула человека». М., 1992.

^{ix} Ч.Дарвин «Происхождение видов путём естественного отбора// Сочинения. Т.3. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1939.

^x Eldredge, N., Gould S.J. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism // Models in Paleobiology / T.J.M. Schopf, ed. – San Francisco: Freeman and Cooper, 1972. P.82-115 b Gould S.J., Eldredge N. Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. - Paleontology, 1977. V.3. №2. К сожалению, ни научные [Онтогенез и филогенез (Ontogeny and Phylogeny, 1977); Ложное измерение человека (The Mismeasure of Man, 1981); Круговорот времени, стрела времени (Time's Cycle, Time's Arrow, 1987), Удивительная жизнь (Wonderful Life, 1989)], ни научно-популярные книги Гулда не переведены на русский.

^{xi} Р.Докинз " Эгоистичный ген". М., 1993.

^{xii} Этот новый взгляд на природу устойчивости структуры биогеоценозов замечательно изложен в работе О.В.Смирновой Популяционная организация биоценотического покрова лесных ландшафтов// Успехи соврем. биол. 1998. Т.118. Вып.2. С.148-164. Он отражает общий сдвиг представлений исследователей о структуре и устойчивости экологических систем от статического понимания устойчивости к динамическому, к устойчивости как определённому отношению между разнотипными парцеллами растительности (специфический «узор», который поддерживается в пространстве и воспроизводится во времени сугубо стохастическими процессами и в силу этого надёжно сохраняется как таковой, см. Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б. Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. Самара, 1999). В силу этого аналогии с сохранением гомеостаза внутри организма здесь неуместны, а вот с устойчивостью цен на рынке – пожалуй, да.

^{xiii} К.Ю. Еськов «История Земли и жизни на ней. Экспериментальное учебное пособие для старших классов». Москва: изд-во «МИРОС», 1999.

^{xiv} С.Хокинг «Краткая история времени. От большого взрыва до чёрных дыр». СПб.; Амфора, 2005

^{xv} см. Ж.И.Резникова. Интеллект и язык животных и человека: основы когнитивной этологии. М.: ИКЦ: «Академкнига», 2005.

^{xvi} См., например Аристотель «Аналитики первая и вторая», Ленинград, Государственное издательство политической литературы, 1952.

^{xvii} Там же.

^{xviii} См., например, аргументы *pro* и *contra* историцизма: Д.Лукач. История и классовое сознание. Исследования по марксистской диалектике. 1923 (<http://mesotes.narod.ru/Luc-text.htm>), Мих. Лифшиц. «Историческое развитие понятия о детстве человеческого рода». Труды Академии художеств СССР, вып.5. М.: 1988, и К.Р.Поппер. Ницета историцизма// Вопросы философии. 1992. №5.

^{xix} См. Л.П.Татаринов. Морфологическая эволюция териодонтов и общие вопросы филогенетики» М.: Наука, 1976. Л.П.Татаринов. Параллелизмы и их эволюционное значение. В кн. Очерки по теории эволюции. М.: Наука, 1987. Раутиан А.С., 1988. Палеонтология как источник сведений о закономерностях и факторах эволюции// Современная палеонтология. М.: Недра. Т.2. С.76-118, 356-371.

- ^{xx} Здесь мы пользуемся анализом В.С.Библера в книге «Кант — Галилей — Кант». М., 1991. С. 231 и ещё более подробным анализом в его более ранней работе «Мышление как творчество». М., 1975;
- ^{xxi} См. соответствующую точку зрения у В.А.Красилова «Нерешённые проблемы теории эволюции». Владивосток, 1986.
- ^{xxii} Попытка проклассифицировать мыслимое разнообразие таких систем сделана в книге Н.А. Заренков «Теоретическая биология». Введение. Изд. МГУ. 1988.
- ^{xxiii} М.Н.Покровский «Русская история. В 3т.», т.2. М.; АСТ, 2005.
- ^{xxiv} А.П. Расницын «Процесс эволюции и методология систематики» // Тр. Русск. энтомол. об-ва. Т.73, 2002,С.1-108
- ^{xxv} В.Келер. Исследование интеллекта человекоподобных обезьян. М.: изд-во Коммунистической академии, 1930.
- ^{xxvi} Здесь и далее широко используется «Комментарий к Порфирию» Бозция, работы которого послужили своего рода мостом между средневековой и античной логикой. Он помещён в издании «Утешение философией» и другие трактаты». М.; «Наука», 1990.
- ^{xxvii} Наше относительно вольное изложение связано с идеей «динамического архетипа» Гёте, с которой авторы, к сожалению, познакомились не по первоисточникам, а по книгам Г.Ю.Любарского, в частности по книге «Архетип, стиль и ранг в биологической систематике», -М.; КМК Ltd. -1996.
- ^{xxviii} В.А.Красилов «Нерешённые проблемы теории эволюции». Владивосток, 1986.
- ^{xxix} См. В.Г.Черданцев. «Морфогенез и эволюция». - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2003.
- ^{xxx} Б.Томашевский "Теория литературы. (Поэтика)" Л., 1925, стр. 137
- ^{xxxi} Любищев А.А. «О постулатах современного селектогенеза» - В кн. «Проблемы эволюции». Новосибирск, Наука, 1973, т.3, с.31-56.
- ^{xxxii} См. И.Фридрих. История письма. М. Едиториал УРСС, 2001.
- ^{xxxiii} Бочаров В.А. «Булева алгебра в терминах силлогистики»// Логические исследования. М.; ИФАН СССР, 1983, стр.32-42.
- ^{xxxiv} Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. – 2-е издание. – М.: Наука, 1983.
- ^{xxxv} См.Ф.Фогель, А. Мотульский «Генетика человека. В 3-х томах», т.3. М.:Мир, 1990
- ^{xxxvi} См. В.В.Налимов «Вероятностная модель языка». М.; Наука,1978.
- ^{xxxvii} См. В.Н.Мельников «Логические задачи». – К.; Одесса: Выща шк., 1989
- ^{xxxviii} При изложении этой темы авторами использован материал книги М.Б.Беркинблита «Нейронные сети» (М.: МИРОС, 1993) с любезного разрешения автора.
- ^{xxxix} Авторам помогла в этом книга Ю. А. Шрейдера «Равенство, сходство, порядок». М., Наука, 1971
- ^{xl} См. разбор соответствующих представлений в книге Г.Ю.Любарского «Архетип, стиль и ранг в биологической систематике», -М.; КМК Ltd. -1996.

^{xi} См. В.Г.Черданцев. «Морфогенез и эволюция». - М.: Товарищество научных изданий КМК, 2003.

^{xlii} Одна из немногих книг, в которых обсуждается эта проблема - А.С.Северцов «Направленность эволюции» - М.; Изд-во МГУ, 1990.

^{xliii} Таким образом осуществляется анализ разных моментов или **аспектов** соответствующего понятия, анализ скорее функциональный (в широком смысле этого понятия) чем структурный. Представление о возможности анализа по аспектам наиболее последовательно проведено не в научной литературе, а в весьма необычном учебном пособии С.Н.Ловягина «Первые уроки игры в бисер или философия в картинках». <http://www.igravbiser.newmail.ru/lgravbiser.pdf>

^{xliv} Любищев А.А. О постулатах современного селектогенеза // Проблемы эволюции. Т.3. Новосибирск: Наука, 1973. С. 31-56.

^{xlv} См. С.Хокинг «Краткая история времени. От большого взрыва до чёрных дыр». СПб.;Амфора, 2005

^{xlvi} Познакомиться с ней можно, например, по книгам «Правила игры без правил»- Петрозаводск: Карелия, 1989 и «Шанс на приключение» - Петрозаводск: Карелия, 1991 из серии «Техника - молодёжь- творчество» или по другим книгам этой серии.

^{xlvii} См., например, его книгу Н.Н.Иорданский «Эволюция жизни».- М.: Издательский центр «Академия», 2001.

^{xlviii} См. книгу М.К.Петрова «Язык, знак, культура». М.: Наука. Главная редакция восточной литературы, 1991 и статью Э.В. Ильенкова «Проблема идеального» на сайте <http://caute.2084.ru/ilyenkov/texts.html>

^{xlix} Н.А.Кисляков «Очерки по истории семьи и брака у народов Средней Азии и Казахстана». Ленинград, «Наука», Ленинградское отделение, 1969.