ИЗ НАСЛЕДИЯ МИРОВОЙ ФИЛОСОФСКОЙ МЫСЛИ

ФИЛОСОФИЯ НАУКИ

Р. Карнап

ФИЛОСОФСКИЕ ОСНОВАНИЯ ФИЗИКИ

ВВЕДЕНИЕ В ФИЛОСОФИЮ НАУКИ

URSS

Rudolf Carnap

PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF PHYSICS

An Introduction to the Philosophy of Science

Edited by Martin Gardner

Р. Карнап

ФИЛОСОФСКИЕ ОСНОВАНИЯ ФИЗИКИ

Введение в философию науки

Перевод с английского,
предисловие и комментарии
доктора философских наук
Г. И. Рузавина

Издание четвертое

URSS
МОСКВА

ББК 22.3ф 87.25

Карнап Рудольф

Философские основания физики: Введение в философию науки / Пер. с англ., предисл. и коммент. Г. И. Рузавина. Изд. 4-е. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с. (Из наследия мировой философской мысли: философия науки.)

Вниманию читателей предлагается книга видного американского философа немецкого происхождения Рудольфа Карнапа (1891–1970), в которой рассматриваются основные методологические проблемы научного познания. Автор знакомит читателя с проблемой научных законов в широком контексте разнообразных форм их проявления, с характеристикой детерминизма и причинности, с интерпретациями понятия вероятности, с проблемой анализа количественных, математических методов исследования и другими аспектами познавательного процесса. Ясность, прозрачность и логическая точность обсуждаемых понятий, а также сведение до минимума необходимого материала из символической логики, математики и физики значительно облегчают читателю знакомство с философией физики и точного естествознания в целом.

Книга рекомендуется широкому кругу читателей, интересующихся проблемами философии и методологии науки.

Издательство ЛКИ. 117312, г. Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 22,5. Зак. № 1390.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».
117312, г. Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-382-00572-0

5775 ID 72209
9 785382 005720

ПРЕДИСЛОВИЕ ПЕРЕВОДЧИКА

Первое издание перевода книги известного логика и философа науки Рудольфа Карнапа появилось в 1971 году. Хотя за это время в философии науки произошли заметные изменения, связанные с утратой прежнего влияния логического позитивизма, к которому принадлежал Р. Карнап, но они заметно не коснулись того учебного материала, который он обсуждает в своих лекциях.

Достоинство рассматриваемой книги состоит, прежде всего, в ясности, прозрачности и логической точности обсуждаемых в ней проблем, вследствие чего она остается не только одним из немногих пособий для первоначального знакомства с философией физики, но и введением в философию научного познания в целом. На это указывает, в частности, подзаголовок книги.

Важное отличие книги Р. Карнапа от других аналогичных пособий состоит в том, что в ней сведен до минимума необходимый материал из символической логики, математики и физики. Это значительно облегчает начинающему знакомство с философией и методологией науки, обращая основное его внимание на содержательный анализ принципиальных проблем.

К ним относится проблема законов науки, рассматриваемая автором в широком контексте эмпирических и теоретических, универсальных и статистических, детерминистических и стохастических форм их проявления.

Раскрывая природу законов науки, Р. Карнап подчеркивает, что они выражают регулярности, т. е. повторяющиеся, постоянные связи между явлениями, наблюдаемыми в природе. Эти регулярности могут выступать в *универсальной* форме, т. е. выражать постоянные связи, встречающиеся всюду в пространстве и времени. Однако большая часть наблюдаемых регулярностей имеет *статистический* характер, поскольку они реализуются лишь в ограниченной части пространства и времени. Отмечая сравнительно малый удельный вес статистических законов в науке, автор видит причину этого в том, что заключения этих законов имеют не достоверный, а лишь вероятный характер.

С точки зрения соотношения универсальных и статистических законов он решает и старую дискуссионную проблему детерминизма и индетерминизма. Под детерминизмом Р. Карнап, как и многие западные авторы, понимал строгий детерминизм, который защищал известный французский ученый П. С. Лаплас, опиравшийся на универсальные законы науки. Согласно этим законам, в природе господствует строгая необходимость и определенность, исключающая наличие в ней случайностей. По мнению П. С. Лапласа, случайными мы называем явления, законы или причины которых остаются для нас неизвестными. Опираясь на новейшие открытия квантовой механики, впервые установившей наличие случайностей в мире мельчайших частиц материи, Р. Карнап вместе с другими учеными-физиками стал говорить об индетерминизме в науке. В отечественной философской литературе этот индетерминизм был подвергнут резкой критике, поскольку он якобы приводит к господству случайностей в природе. На самом же деле под неудачным, с нашей точки зрения, термином «индетерминизм» подразумевался взгляд, который признает наличие случайностей в мире и самостоятельность стохастических или вероятностно-статистических законов. В связи с этим Р. Карнап дает ясное освещение двух основных интерпретаций понятия вероятности — статистической и индуктивной; одним из авторов последней был он сам.

Вторая важная проблема, рассматриваемая в книге, которая является особенно актуальной для развития и применения точного знания — это проблема анализа количественных, математических методов исследования в разнообразных сферах их использования, начиная от простого счета и измерения и кончая тончайшими и сложнейшими методами их применения в наиболее развитых отраслях естествознания и технических наук. В настоящее время рассматриваемая проблема тесно смыкается с проблемой математизации и компьютеризации современного знания вообще.

Р. Карнап высоко оценивает преимущества количественного метода исследования, заявляя, что «отказ от количественной науки означал бы отказ от всех тех удобств, которые дает нам современная техника» (с. 163). В то же время он подчеркивает необходимость качественного подхода при изучении явлений и определении понятий, в которых выражается это качество. Критикуя взгляды сторонников операционализма, которые стремились определить физические понятия с помощью соответствующих измерительных процедур, он справедливо подчеркивал, что «полное значение понятия не может быть раскрыто с помощью одной измерительной процедуры» (с. 154) и поэтому «наука не должна концентрировать внимание исключительно на количественных понятиях» (с. 175).

Особый интерес заслуживает обсуждение эволюции взглядов Р. Карнапа по вопросу о природе научной теории и роли в ней языка. В самом начале возникновения логического позитивизма он вместе с другими его лидерами разделял мнение, что теоретические понятия или термины могут быть *сведены* к терминам наблюдения. В последующем он пересмотрел свои взгляды, и в настоящей книге говорит лишь об эмпирической *интерпретации* некоторых терминов теоретического языка. Отказался он также от абсолютизации различия между теоретическими и эмпирическими терминами.

Существенные изменения претерпели взгляды Р. Карнапа и на теорию и критерии ее проверки. Если раньше он рассматривал теорию просто как гипотетико-дедуктивную систему, а критерием ее достоверности считал степень ее *верификации*, или подтверждения эмпирическими данными, то впоследствии стал подчеркивать тесную связь теории с эмпирией. Все эти соображения заставили одного из критиков логического позитивизма Н. Р. Хэнсона заявить даже, что Рудольф Карнап и другие лидеры не являются больше позитивистами. Читатель может проследить в деталях эту эволюцию взглядов Р. Карнапа, ознакомившись с частью V предлагаемой книги. Вместе с тем он может убедиться в том, что некоторые позитивистские утверждения все еще встречаются в данной книге.

Несмотря на это, «Философские основания физики» Р. Карнапа по-прежнему являются популярным и систематическим введением не только в философию физики, но и в методологическую проблематику точного научного знания. Написанная выдающимся специалистом в этой области науки свыше трех десятилетий назад, книга не утратила своего значения как пособие для первоначального изучения философии физики и точного естествознания в целом.

10 ноября 2002 г. *Профессор Г. И. Рузавин*

Уважаемые читатели! По техническим причинам далее в настоящем издании пагинация книги приводится со страницы 34.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

Эта книга возникла из семинарских занятий, которые я много раз проводил, меняя их содержание и форму. Семинар носил название «Философские основания физики» или «Понятия, теории и методы физических наук».

Хотя его содержание часто менялось, общая философская установка оставалась постоянной. В курсе особое внимание уделялось скорее анализу понятий, утверждений и теорий науки, чем метафизическим спекуляциям.

Мысль об опубликовании основного содержания моих семинарских бесед (скорее неформальных) была высказана Мартином Гарднером, который посещал мой курс в Чикагском университете в 1946 году. В 1958 году он спросил меня, существует ли машинописный текст семинарских бесед или может ли он быть подготовлен. В таком случае он предлагал отредактировать его для издания. Я никогда не имел машинописного текста своих лекций и семинарских бесед и не хотел тратить время на их написание. Но случилось так, что именно этот курс был объявлен на следующий семестр, на конец 1958 года, в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Предполагалось, что мои беседы и дискуссии будут записаны на магнитофон. Сознавая огромную дистанцию между устным словом и формулировками, подходящими для публикации, я сначала довольно скептически отнесся к этому плану. Но друзья убедили меня сделать это, потому что большая часть моих взглядов по проблемам философии науки не была опубликована в печати. Решающую поддержку оказала моя жена, которая добровольно записала на магнитофон целый семестровый курс и расшифровала его. Она оказала мне неоценимую помощь также при завершении работы над книгой. Этой книгой я многим обязан ей, но ей не пришлось увидеть ее опубликованной: она не дожила до этого дня.

Исправленный вариант машинописного текста был послан Мартину Гарднеру, который взялся за трудную задачу редактирования, выполнив ее с большим искусством и чувством. Он не только улучшил стиль книги, но нашел пути для того, чтобы облегчить читателю ее чтение посредством переделки и улучшения некоторых разделов, приведения новых примеров. Главы книги по несколько раз пересылались от меня к редактору и обратно. Время от времени я делал обширные изменения и добавления или предлагал сделать их Гарднеру. Хотя семинар предназначался для аспирантов по философии, знакомых с символической логикой и обладавших некоторыми познаниями по математике и физике в объеме колледжа, мы решили сделать книгу доступной для широкого круга читателей. Поэтому число логических, математических и физических формул было значительно сокращено, а оставшиеся формулы там, где это казалось желательным, были подробно объяснены.

В этой книге не делается попытки дать систематическое изложение всех важных проблем в области философских оснований физики. В моих семинарах — а следовательно, и в книге — я предпочел ограничиться небольшим числом фундаментальных проблем (которые указываются в заголовках шести частей книги) и обсудить их более подробно, чем поверхностно обсуждать множество других вопросов. Большинство тем, излагаемых в настоящей книге (за исключением части III о геометрии и главы 30 о квантовой физике), относятся ко всем областям науки, включая биологию, психологию и социальные науки.

Прежде всего я должен поблагодарить моего верного и способного сотрудника Мартина Гарднера. Я очень признателен ему за превосходную редакцию, а также за его неизменное терпение, когда я долго задерживал некоторые главы или требовал еще больших изменений.

Я также хочу поблагодарить моих друзей Герберта Фейгля и Карла Гемпеля за те ценные идеи, которыми они делились со мной в беседах на протяжении ряда лет, и в особенности за их полезные замечания по отдельным частям рукописи. Абнеру Шимони я обязан за щедрую помощь по вопросам квантовой механики. Кроме того, я хочу выразить благодарность многим моим друзьям и коллегам за их стимулирующее влияние, а моим студентам, посещавшим семинар, за то, что они своими вопросами и замечаниями способствовали обсуждению ряда проблем этой книги.

Я признателен издательству Йельского университета за любезное разрешение использовать обширные цитаты из книги Рицлера «Физика и реальность» (1940).

Рудольф КАРНАП,
Калифорнийский университет,
Лос-Анджелес

Февраль 1966 г.

Часть I

ЗАКОНЫ, ОБЪЯСНЕНИЯ И ВЕРОЯТНОСТЬ

Глава 1

ЗНАЧЕНИЕ ЗАКОНОВ: ОБЪЯСНЕНИЕ И ПРЕДСКАЗАНИЕ

Наблюдения, делаемые нами в повседневной жизни, так же как более систематические наблюдения в науке, обнаруживают в мире определенную повторяемость или регулярность. За днем всегда следует ночь; времена года повторяются в том же самом порядке; огонь всегда ощущается как горячий; предметы падают, когда мы их роняем, и т. д. Законы науки представляют не что иное, как утверждения, выражающие эти регулярности настолько точно, насколько это возможно.

Если некоторая регулярность наблюдается во все времена и во всех местах без исключения, тогда она выступает в форме универсального закона. Пример из повседневной жизни: «Всякий лед — холодный». Это суждение утверждает, что любой кусок льда — в любом месте во вселенной, в любое время, в прошлом, настоящем и будущем — является (был или будет) холодным. Не все законы науки являются универсальными. Вместо того чтобы утверждать, что регулярность встречается во *всех* случаях, некоторые законы утверждают, что она встречается только в определенном проценте случаев. Если этот процент указывается или если каким-либо иным образом делается количественное утверждение насчет отношения одного события к другому, то такое утверждение называют «статистическим законом». Например, «зрелые яблоки — обычно красные» или «приблизительно половина детей, рождающихся в каждом году, — мальчики». Оба типа законов — универсальные и статистические — необходимы в науке. Универсальные законы логически проще, и поэтому сначала мы рассмотрим именно их. В первой части этого обсуждения под «законами» обычно будут пониматься универсальные законы.

Универсальные законы выражаются в логической форме, которая в формальной логике называется «универсальным условным утверждением». (В этой книге мы будем при случае применять символическую логику, но только в очень элементарной форме.) В качестве примера рассмотрим закон самого простого возможного типа. Он утверждает, что, каковым бы ни было x, если x есть P, тогда x есть также Q. Это записывается символически так:

$$(x)(Px \supset Qx).$$

Символ (x) на левой стороне называется «универсальным квантором». Оно говорит нам о том, что утверждение относится скорее ко *всем* случаям x, чем только к определенному проценту случаев. Px обозначает, что x есть P, а Qx, что x есть Q. Символ «$\supset$» есть связка. Он связывает термин на левой стороне с термином на правой. В русском языке[1] ему соответствует приблизительно выражение «если ..., то ...».

Если x обозначает любое материальное тело, тогда закон утверждает, что для любого материального тела x, если x обладает свойством P, то он также обладает свойством Q. В физике, например, мы можем сказать: «Для каждого тела x, если это тело нагревается, то оно будет расширяться». Это закон теплового расширения в его простейшей, неколичественной форме. В физике, конечно, пытаются получить количественные законы и характеризуют их так, чтобы не допустить исключений, но если мы забудем о таких тонкостях, то это универсальное условное утверждение будет представлять базисную логическую форму всех универсальных законов. Иногда мы можем сказать, что не только Qx имеет место всякий раз, когда имеет место Px, но и обратное также верно; всякий раз, когда имеет место Qx, имеет место и Px. Логики называют это двойным условным утверждением, которое является условным в обоих направлениях. Разумеется, это не противоречит тому факту, что во всех универсальных законах мы имеем дело с уни-

---

[1] В подлиннике здесь и в других подобных случаях, конечно, речь идет об английском языке. — *Прим. перев.*

версальными условными утверждениями, потому что двойное условное утверждение может рассматриваться как конъюнкция двух условных утверждений.

Не все утверждения, высказываемые учеными, имеют такую логическую форму. Ученый может сказать: «Вчера в Бразилии профессор Смит открыл новый вид бабочек». Это утверждение — не утверждение закона. Оно говорит о специфическом определенном времени и месте; оно устанавливает, что нечто случилось в такое-то время и в таком-то месте. Поскольку такие утверждения, как это, являются утверждениями об отдельных фактах, они называются «единичными» утверждениями. Конечно, все наше познание возникает из единичных утверждений — частных наблюдений отдельных индивидов. Один из больших и сложных вопросов философии науки — это вопрос о том, как мы в состоянии подняться от таких единичных утверждений к универсальным законам.

Когда утверждения делаются ученым на обычном, словесном языке, а не на более точном языке символической логики, мы должны быть крайне внимательными, чтобы не спутать единичные утверждения с универсальными. Если зоолог пишет в учебнике: «Слон — отличный пловец», то он имеет в виду не определенного слона, которого он наблюдал в зоологическом саду и который является отличным пловцом. Когда ученый говорит о «слоне», то он использует определенный артикль «the» в аристотелевском смысле; этот артикль относится к целому классу слонов. Все европейские языки унаследовали от греческого (а возможно, и от других языков) эту манеру говорить о единичном, когда в действительности имеется в виду класс или тип. Когда греки говорили: «Человек есть разумное животное», то они имели в виду, конечно, всех людей, а не каких-либо особенных. Подобным же образом мы говорим «слон», когда имеем в виду всех слонов, или «туберкулез характеризуется следующими симптомами...», когда имеем в виду не отдельный случай туберкулеза, а все случаи.

Это — несчастье, что наш язык несет в себе эту двусмысленность, потому что она является источником многих недоразумений. Ученые часто обращаются с универсальными утверждениями — или, скорее, с тем, что выражают такие утверждения, — как с «фактами». Они забывают, что слово «факт» первоначально применялось (и мы будем применять его исключительно в этом смысле) к единичным, частным событиям. Если ученого спросят о законе теплового расширения, он может сказать: «О, тепловое расширение! Это один из известных, основных фактов физики». Подобным же образом он может говорить как о факте, что тепло вызывается электрическим током, что магнетизм порождается электричеством, и т. д. Все это иногда рассматривается в качестве «фактов» физики. Чтобы избежать недоразумений, мы предпочитаем не называть такие утверждения «фактами». Факты являются единичными событиями. «Утром в лаборатории я пропустил электрический ток через проволочную катушку с железным сердечником внутри нее и обнаружил, что сердечник стал магнитным». Это, конечно, факт, если я не ошибаюсь каким-либо образом. Однако, если я спокоен, если не слишком темно в комнате и если никто не задумал сыграть со мной шутку, сделав что-то с прибором, тогда я могу установить в качестве фактического наблюдения, что этим утром имела место определенная последовательность событий.

Когда мы будем пользоваться словом «факт», мы будем *понимать* его в смысле единичного утверждения, чтобы ясно отличить его от утверждений универсальных. Универсальные же утверждения будут называться «законами» и в том случае, когда они столь элементарны, как закон теплового расширения, или даже еще более элементарны, как утверждение: «Все вороны — черные». Я не знаю, является ли это утверждение истинным, но, предполагая его истинным, мы будем называть такое утверждение законом зоологии. Зоологи могут говорить неформально о таких «фактах», как «ворона — черная» или «осьминог имеет восемь конечностей», но в нашей, более точной терминологии все подобные утверждения будут называться «законами».

Позже мы будем различать два вида законов — эмпирические и теоретические. Законы простого вида, о которых я только что упоминал, иногда называют «эмпирическими обобщениями», или «эмпирическими законами». Они являются простыми потому, что говорят о свойствах, таких, как черный цвет или магнитные свойства куска железа, которые можно наблюдать непосредственно. Например, закон теплового расширения представляет обобщение, основанное на многих непосредственных наблюдениях тел, которые расширяются при нагревании. В противоположность этому теоретические понятия или понятия о ненаблюдаемых объектах, таких, как элементарные частицы или электромагнитные поля, должны иметь отношение к теоретическим законам. Мы будем обсуждать все это позже. Я упоминаю об этом здесь потому, что иначе вы можете подумать, что примеры, которые я привожу, не охватывают тот вид законов, который вы, возможно, изучали в теоретической физике.

Резюмируя, можно сказать, что наука начинается с непосредственных наблюдений отдельных фактов. Ничто, кроме этого, не является наблюдаемым. Конечно, регулярность не наблюдается непосредственно. Она обнаруживется только тогда, когда многие наблюдения сравниваются друг с другом. Эти регулярности выражаются с помощью утверждений, называемых «законами».

Какая польза от таких законов? Какой цели они служат в науке и повседневной жизни? На это можно ответить двояко: законы используются для *объяснения* фактов, уже известных, и *предсказания* фактов, еще неизвестных.

Рассмотрим сначала, как законы науки используются для объяснения. Никакое объяснение, то есть ничто заслуживающее почетного титула «объяснение», не может быть дано без обращения по крайней мере к одному закону. (В простых случаях существует только один закон, но в более сложных случаях может затрагиваться совокупность многих законов.) Важно подчеркнуть этот пункт, потому что философы часто утверждают, что они могут объяснить некоторые факты в истории, природе или человеческой жизни каким-то другим способом. Они обычно делают это путем установления некоторого типа факторов или сил, которые объявляются ответственными за появление события, которое должно быть объяснено.

В повседневной жизни это, конечно, знакомая форма объяснения. Пусть кто-то спрашивает: «Почему моих часов нет в комнате, хотя я их оставил на столе, прежде чем выйти из комнаты?» Вы отвечаете: «Я видел, что Джон вошел в комнату и взял часы». Таково ваше объяснение исчезновения часов. Возможно, оно не будет рассматриваться как достаточное объяснение. Почему

Джон взял часы? Намеревался ли он похитить их или же только взял на время? Возможно, что он взял их по ошибке, приняв за собственные. На первый вопрос: «Что случилось с часами?» — отвечают утверждением факта: «Джон взял их». На второй вопрос: «Почему Джон взял их?» — можно ответить с помощью другого факта: «Он взял их на время». Таким образом, кажется, что мы не нуждаемся в законах вообще. Мы требуем объяснения одного факта и приводим второй факт. Требуя объяснения второго факта, мы приводим третий факт. Дальнейшие объяснения могут потребовать приведения других фактов. Почему же тогда необходимо обращаться к законам, чтобы дать адекватное объяснение факта?

Ответ на этот вопрос заключается в том, что объяснения с помощью фактов в действительности являются замаскированными объяснениями с помощью законов. Когда мы их проанализируем более внимательно, то обнаружим, что они являются сокращенными, неполными утверждениями, *молчаливо предполагающими* некоторые законы, но законы эти настолько знакомы, что нет необходимости выражать их (явно). В примере с часами первый ответ: «Джон взял их» — не будет рассматриваться как удовлетворительное объяснение, если мы не будем предполагать существование универсального закона: всякий раз, когда кто-то берет часы со стола, они больше не находятся на нем. Второй ответ: «Джон взял их на время» — есть объяснение, потому что мы принимаем как само собой разумеющийся общий закон: если кто-то берет на время часы, чтобы использовать их где-то, он забирает и уносит их.

Рассмотрим еще один пример. Мы спрашиваем маленького Томми, почему он кричит, и он объясняет это другим фактом: «Джимми ударил меня по носу». Почему мы рассматриваем этот ответ как достаточное объяснение? Потому что мы знаем: удар по носу вызывает боль и, когда ребята чувствуют боль, они кричат. Существуют общие психологические законы. Они настолько хорошо известны, что предполагается, что даже маленький Томми их знает, когда он говорит нам, почему кричит. Если бы мы, скажем, имели дело с марсианским ребенком и очень мало знали о марсианских психологических законах, тогда простое утверждение факта не могло бы рассматриваться как адекватное объяснение поведения ребенка. Если бы факты не были связаны друг с другом по крайней мере посредством одного закона, установленного явно или молчаливо подразумеваемого, тогда они не обеспечивали бы объяснения.

Общая схема, которая охватывает все объяснения, символически может быть представлена так:

1) $(x)(Px \supset Qx)$;
2) Pa;
3) Qa.

Первое утверждение представляет универсальный закон, который применяется к любому объекту. Второе устанавливает, что частный объект a имеет свойство P. Эти два утверждения, взятые вместе, позволяют нам логически вывести третье утверждение: объект a имеет свойство Q.

В науке, как и в повседневной жизни, универсальный закон не всегда устанавливается явно. Если вы спросите физика: «Почему этот железный стержень минуту назад точно подходил к аппарату, а теперь не подходит?» — он может ответить так: «Пока вы выходили из комнаты, я нагрел его». Он предполагает, конечно, что вы знаете закон теплового расширения тел; иначе, чтобы быть понятым, он мог бы добавить: «И всякий раз, когда тело нагревается, оно расширяется». Общий закон существен для такого объяснения. Однако, если ученому известно, что вы знаете закон, тогда он может не чувствовать необходимости в том, чтобы явно формулировать закон. По этой причине объяснения — особенно в повседневной жизни, где законы здравого смысла принимаются как сами собой разумеющиеся, — часто кажутся совершенно отличными от той схемы, которую я дал.

Иногда для объяснений приходится применять законы, которые являются скорее статистическими, чем универсальными. В таких случаях мы должны ограничиваться статистическими объяснениями. Например, мы можем знать, что определенные виды грибов слегка ядовиты и вызывают некоторые болезненные симптомы в 90% случаев, когда их едят. Если врач обнаруживает эти симптомы при исследовании пациента, а пациент информирует его, что он вчера ел грибы подобного сорта, тогда врач будет рассматривать этот факт как объяснение симптомов, хотя рассматриваемый при объяснении закон является статистическим. И это действительно есть объяснение.

Даже тогда, когда статистический закон дает только крайне слабое объяснение, оно все же есть объяснение. Например, закон медицинской статистики может констатировать, что у 5% людей, которые ели определенную пищу, возникнут некоторые болезненные симптомы. Если врач ссылается на это в качестве объяснения состояния пациента, у которого обнаружатся такие симптомы, то пациент может остаться неудовлетворенным таким объяснением. «Почему, — скажет он, — я один из этих 5%?» В некоторых случаях врач окажется в состоянии дать дальнейшие объяснения. Он может проверить пациента на аллергию и обнаружить, что у него имеет место аллергия к данной пище. «Если бы я знал это, — скажет он пациенту, — я бы предостерег вас от такой пищи. Мы знаем, что когда люди, имеющие аллергию к данной пище, едят ее, то у 97% из них возникают симптомы, подобные вашим». Это может удовлетворить пациента как более сильное объяснение. Являются ли они сильными или слабыми, но это — подлинные объяснения. При отсутствии известных нам универсальных законов часто единственно доступным типом являются статистические объяснения.

В только что приведенном примере статистический закон есть наилучшее, что может быть установлено, так как не существует достаточных медицинских знаний, гарантирующих установление универсального закона. Статистические законы в экономике и других областях общественных наук также обязаны своим появлением подобному недостатку знания. Наше ограниченное знание психологических законов, основывающихся на физиологических законах, которые в свою очередь могут основываться на физических законах, приводит к необходимости формулировать законы общественных наук в статистических терминах. В квантовой теории мы встречаемся, однако, со статистическими законами, которые могут не быть результатом незнания. Они могут выражать основную структуру мира. Известный принцип неопределенности Гейзенберга представляет хорошо знакомый пример такого рода. Многие физики считают, что все законы физики в конечном счете основываются на фундаментальных законах, которые по своему характеру являются статистическими. Если бы дело обстояло так, то мы ограничивались бы объяснениями, основывающимися на статистических законах.

Что следует сказать об элементарных законах логики, которые входят во все объяснения? Служат ли они в качестве универсальных законов, на которых основываются научные объяснения? Нет, не служат. Причина этого состоит в том, что они являются законами совершенно другого рода. Верно, конечно, что законы логики и чистой математики (не физической геометрии, которая представляет собой нечто другое) являются универсальными, но они ничего не говорят нам о мире. Они просто устанавливают отношения, которые имеются между некоторыми понятиями не потому, что мир обладает такой-то структурой, а только потому, что эти понятия определены соответствующим образом.

Вот два примера простых логических законов:

1) Если p и q, то p;

2) если p, то p или q.

Эти утверждения не могут быть опровергнуты, потому что их истинность основывается на значениях входящих в них терминов. Первый закон просто устанавливает, что если мы предполагаем истинность утверждений p и q, то мы должны предположить, что утверждение p истинно. Закон вытекает из способа использования союза «и» и «если ..., то». Второй закон утверждает, что если мы предполагаем истинность p, то мы должны предположить, что p или q истинно. Словесная формулировка этого закона не совсем ясна, потому что в русском языке слово «или» употребляют как в неисключающем смысле (одно или оба), так и в исключающем смысле (одно, а не оба). Чтобы сделать формулировку закона точной, мы выразим его в символической записи:

$$p \supset (p \vee q).$$

Символ «$\vee$» понимается как «или» в неисключающем смысле. Его значение может быть раскрыто более формально, если мы приведем полностью таблицу его истинности. Мы можем сделать это путем перечисления всех возможных комбинаций истинностных значений (истина или ложь) для двух терминов, связанных символом, а затем определения комбинаций, которые разрешаются символом и не разрешаются. Четыре возможных комбинации значений суть:

	p	q
1)	истинно	истинно
2)	истинно	ложно
3)	ложно	истинно
4)	ложно	ложно.

Символ «$\vee$» определяется правилом: отношение «$p \vee q$» истинно в первых трех случаях и ложно в четвертом. Символ «$\supset$», который приблизительно переводится на русский язык как «если ..., то», точно определяется путем указания, что он истинен в первом, третьем и четвертом случаях и ложен во втором. Как только мы поймем определение каждого термина в логическом законе, мы ясно увидим, что истинность такого закона должна устанавливаться способом, который полностью независим от природы мира. Это необходимая истина — истина, которая имеет место, как иногда утверждают философы, во всех возможных мирах.

Это верно не только для законов логики, но и математики. Когда мы точно охарактеризуем значения 1, 3, 4, + и =, истинность закона «$1 + 3 = 4$» следует непосредственно из этих значений. То же самое имеет место даже в более абстрактных областях чистой математики. Например, структура называется группой, если она удовлетворяет некоторым аксиомам, которые определяют группу. Трехмерное евклидово пространство алгебраически может быть определено как множество упорядоченных троек действительных чисел, которые удовлетворяют некоторым основным условиям. Все это не имеет ничего общего с природой внешнего мира. Не существует никакого возможного мира, в котором не выполнялись бы законы теории групп и абстрактной геометрии евклидова трехмерного пространства, потому что эти законы зависят только от значений входящих в них терминов, а не от структуры того действительного мира, в котором мы случайно оказываемся.

Действительный мир есть мир, постоянно изменяющийся. Даже самые фундаментальные законы физики, несмотря на нашу уверенность в их неизменности, могут незначительно изменяться от столетия к столетию. То, во что мы верим, как в физические константы с фиксированным значением, может быть подвержено обширным циклическим изменениям, которых мы пока не замечаем. Но такие изменения независимо от их силы никогда не разрушат истинности отдельного логического или арифметического закона.

Это звучит весьма драматически; возможно, для утешения следует сказать, что по крайней мере здесь мы действительно находим достоверность. Справедливо, конечно, что здесь мы достигаем достоверности, но платим за нее очень высокую цену. Этой ценой будет то, что утверждения логики и математики не говорят нам ничего о мире. Мы можем быть уверены в том, что три плюс один будет четыре, так как это имеет место в любом возможном мире. Это утверждение не может сказать нам чего бы то ни было о мире, в котором мы живем.

Что мы понимаем под «возможным миром»? Просто мир, который может описываться без противоречия. Сюда входят сказочные миры и вымышленные миры самого фантастического рода при условии, что они описываются в логически непротиворечивых терминах. Например, вы можете сказать: «Я имею в виду мир, в котором имеется точно одна тысяча событий, ни более, ни менее. Первое событие будет представлять появление красного треугольника, второе — зеленого квадрата. Однако, поскольку первое событие было синее, а не красное...» В этом месте я прерываю вас. «Но только что вы сказали, что первое событие — красное, а теперь вы говорите, что оно — синее. Я не понимают вас». Возможно, я записал ваше замечание на магнитофон. Тогда я включаю соответствующую запись, чтобы убедить вас, что вы допускаете противоречия. Если вы будете упорствовать на своем описании этого мира, включающего два взаимопротиворечащих утверждения, то я буду настаивать на том, что вы не описываете ничего, что можно было бы назвать возможным миром.

С другой стороны, вы можете описать возможный мир как следующий: «Существует человек. Он сокращается в размерах, становится меньше и меньше. Вдруг он превращается в птицу. Затем из этой птицы возникает тысяча птиц. Эти птицы взлетают в небо, и тучи разговаривают друг с другом о том, что случилось». Все это представляет описание возможного мира. Фантастического — да, но непротиворечивого.

Мы можем сказать, что возможные миры являются мыслимыми мирами, но я пытаюсь избегать этого термина, потому что он иногда используется в более ограниченном смысле, как то, «что́ может вообразить человеческое существо». Многие возможные миры могут быть описаны, но их нельзя вообразить. Мы можем, например, рассмотреть континуум, в котором все точки, определяемые рациональными координатами, являются красными, а все точки с иррациональными координатами — синими. Если мы допускаем возможность приписать цвет точкам, то получим непротиворечивый мир. Он мыслится в более широком смысле, то есть он может предполагаться без противоречий. Он немыслим в психологическом смысле. Никто не может вообразить даже нецветной континуум точек. Мы можем вообразить только грубую модель континуума — модель, состоящую из очень плотно упакованных точек. Возможные миры являются мирами, мыслимыми в широком смысле. Они представляют собой миры, которые могут быть описаны без логического противоречия.

Законы логики и чистой математики благодаря самой их природе не могут быть использованы в качестве основы для научного объяснения, потому что они ничего не говорят нам о том, что отличало бы действительный мир от некоторого другого возможного мира.

Когда мы требуем объяснения факта, частного наблюдения в действительном мире, мы должны использовать *эмпирические* законы. Они не обладают достоверностью логических и математических законов, но они говорят нам нечто о структуре мира.

В девятнадцатом веке некоторые немецкие физики, такие, как Густав Кирхгофф и Эрнст Мах, говорили, что наука должна спрашивать не «почему?», а «как?». Они имели в виду, что наука не должна искать метафизических агентов, ответственных за некоторые события, а должна только описывать такие события в терминах законов. Такое запрещение спрашивать «почему?» должно быть понятно в его историческом плане. Его предпосылкой была немецкая философская атмосфера того времени, в которой доминировал идеализм в традиции Фихте, Шеллинга и Гегеля. Эти люди чувствовали, что описание того, как мир функционирует, было недостаточным. Они хотели более полного понимания, которое, как они верили, могло быть получено только посредством нахождения метафизических причин, стоящих за явлениями и недостижимых научным методом. Физики отвечали им следующим образом: «Не спрашивайте нас «почему?». Не существует никакого ответа, кроме того, который дают эмпирические законы». Они возражали против вопросов «почему?», так как обычно эти вопросы были метафизическими.

Сейчас философская атмосфера изменилась. В Германии очень немного философов, продолжающих работать в идеалистической традиции, а в Англии и Соединенных Штатах Америки они практически исчезли. В результате мы больше не беспокоимся относительно вопросов «почему?». Мы не должны говорить «не спрашивайте нас почему?», так как теперь, когда кто-то спрашивает «почему?», мы полагаем, что он понимает вопрос в научном, неметафизическом смысле. Он просто просит нас объяснить нечто в рамках эмпирических законов.

Когда я был молод и участвовал в Венском кружке, некоторые из моих ранних публикаций были написаны в качестве реакции на философский климат немецкого идеализма. Вследствие этого мои публикации, как и публикации других участников кружка, были полны утверждений запрещающего характера, подобных тем, которые я только что обсуждал. Эти запрещения должны быть поняты с учетом той исторической ситуации, в которой мы находились. Сейчас, особенно в Соединенных Штатах Америки, мы редко делаем такие запрещения. Оппоненты, с которыми мы встречаемся здесь, совершенно другого склада, и характер их возражений часто определяет способ, с помощью которого они выражают свои взгляды.

Когда мы говорим, что для объяснения данного факта необходимо использовать научный закон, мы желаем прежде всего исключить ту точку зрения, согласно которой метафизические агенты должны быть найдены раньше, чем сам факт может быть адекватно объяснен. В донаучные эпохи это был, конечно, обычный тип объяснения. В те времена мир представлялся населенным духами или демонами, которые непосредственно не наблюдались, но которые своими *действиями* вызывали дождь, наводнение, удар молнии. Что бы ни случилось, там было нечто — или, скорее, *некто*, — ответственное за событие. Психологически это понятно. Если человек делает мне что-то, что мне не нравится, для меня естественно сделать его ответственным за это, рассердиться на него и нанести ответный удар. Если туча поливает меня, я не могу повлиять на тучу, но могу найти выход моему гневу, если сделаю тучу или некоего невидимого демона, скрытого за нею, ответственным за дождь. Я могу выкрикивать проклятия демону, грозить ему кулаком. Мой гнев утихнет. Я почувствую себя лучше. Легко понять, какое психологическое удовлетворение находили люди в донаучных обществах, воображая некие силы позади явлений природы.

Со временем, как мы знаем, общества отказались от своей мифологии, но иногда ученые заменяют духов факторами, которые в действительности мало от них отличаются. Немецкий философ Ганс Дриш, который умер в 1941 году, написал много книг о философии науки. В начале своей деятельности он был выдающимся биологом, известным своими работами о некоторых реакциях организмов, включая регенерацию морских ежей. Он отрезал части их тела и наблюдал, на какой стадии их роста и при каких условиях они были в состоянии отрастить новые части. Его научная работа была важной и блестящей. Но Дриш интересовался также философскими вопросами, в частности теми, которые имеют отношение к основаниям биологии, поэтому, возможно, он и стал профессором философии. В области философии он также создал ряд блестящих работ, но в его философии был один аспект, который я и мои друзья по Венскому кружку не ценили столь высоко. Это был его способ *объяснения* таких биологических процессов, как регенерация и репродукция.

В то время, когда Дриш проводил свои биологические исследования, считалось, что многие характеристики живых тел не могут быть найдены нигде, кроме них (сегодня яснее видно, что существует непрерывная связь между органическим и неорганическим миром). Он хотел объяснить эти уникальные черты организмов, поэтому постулировал то, что называл «энтелехией». Этот термин был введен Аристотелем, который придавал ему другое значение, но нам нет необходимости обсуждать это значение здесь. Дриш, в сущности, утверждал: «Энтелехия есть некоторая специфическая сила, которая заставляет живые тела вести себя так, как они себя ведут. Но вы не должны думать о ней как о *физической* силе, такой, как гравитация или магнетизм. О, нет, ничего подобного».

Энтелехия организмов, утверждал Дриш, имеет различные виды, зависящие от стадии эволюции организмов. В простейших, одноклеточных организмах энтелехия сравнительно проста. По мере того, как мы поднимаемся по эволюционной лестнице от растений к низшим животным, от них — к высшим животным и, наконец, к человеку, энтелехия становится все более и более сложной. Это обнаруживается в значительной степени в том, как явления объединяются в высшие формы жизни. То, что мы называем «разумом» человеческого тела, в действительности есть не что иное, как часть энтелехии человека. Энтелехия представляет собой значительно большее, чем разум, или по крайней мере большее, чем сознательный разум, потому что она ответственна за все то, что каждая клетка делает в теле. Если я порежу палец, клетки пальца образуют новую ткань и доставят к месту пореза вещества, которые будут убивать приходящие бактерии. Эти явления сознательно не управляются разумом. Они встречаются и в пальце одномесячного ребенка, который никогда не слышал о законах физиологии. Все это, настаивал Дриш, обязано энтелехии организма, *одним* из проявлений которой является разум. Поэтому дополнительно к научному объяснению Дриш разработал теорию энтелехии, которую он предложил в качестве *философского* объяснения таких научно необъяснимых явлений, как регенерация частей морских ежей.

Является ли это объяснением? Я и мои друзья имели с Дришем несколько дискуссий об этом. Я вспоминаю Международный философский конгресс в Праге в 1934 году. Ганс Рейхенбах и я критиковали теорию Дриша, в то время как он и другие защищали ее. В наших публикациях мы не уделяли много места критике, потому что мы восхищались работами Дриша, которые он сделал в биологии и философии. Он совершенно отличался от большинства философов в Германии тем, что действительно хотел развивать научную философию.

Однако его теории энтелехии, как нам казалось, не хватало чего-то.

Этот недостаток заключался в непонимании того, что никакое научное объяснение не может быть дано без привлечения законов.

Мы говорили ему: «Ваша энтелехия — мы не знаем, что вы понимаете под ней. Вы говорите, что она не является физической силой. Что же тогда она есть?»

«Хорошо, — мог он ответить (я, конечно, перефразирую его слова), — вы не должны так узко мыслить. Когда вы просите физика объяснить, почему этот гвоздь двигается вдруг к железному бруску, он скажет вам, что брусок намагничен и гвоздь притягивается силой магнетизма. Но никто даже не видел магнетизма. Вы видите только движение маленького гвоздя к железному бруску».

Мы соглашаемся: «Да, вы правы. Никто не видел магнетизма».

«Вот видите, — продолжает он, — физик вводит силы, которые никто не может наблюдать, — силы, подобные магнетизму и электричеству, чтобы объяснить некоторые явления. Я хочу того же самого. Физические силы неадекватно объясняют некоторые органические явления, поэтому я ввожу нечто подобное силам, но не физические силы, потому что они действуют иначе. Например, они пространственно не локализованы. Верно, что они действуют на физический организм, но их действие распространяется на весь организм, а не только на его отдельные части. Следовательно, вы не можете сказать, где они локализованы. Здесь не существует локализации. Хотя это и не физические силы, но я так же законно ввожу их, как физик вводит невидимую силу магнетизма».

Мы отвечали, что физик не объясняет движения гвоздя к бруску посредством простого введения слова «магнетизм». Конечно, если вы спросите его, почему гвоздь движется, то он может сначала ответить, что это явление обязано магнетизму. Но если вы будете настаивать на более полном объяснении, то он может сослаться на закон. Законы могут не выражаться в количественных терминах, подобно уравнениям Максвелла, которые описывают магнитные поля. Они могут быть простыми, качественными законами, в которых не встречаются никакие числа. Физик может сказать: «Все гвозди, содержащие железо, притягиваются концом бруска, который был намагничен». Он может продолжить объяснение сосостояния намагниченности, сославшись на другие неколичественные законы. Он может рассказать вам, что железная руда из города Магнесии (вы можете вспомнить, что слово «магнит» происходит от греческих слов, означающих буквально «камень из Магнесии», где впервые была обнаружена железная руда такого сорта) обладает этим свойством. Он может объяснить, что железные бруски становятся магнитными, если они каким-либо способом соприкасаются с естественной магнитной рудой. Он может привести вам другие законы относительно условий, при которых некоторые вещества становятся магнитными, и законы, относящиеся к явлениям, связанным с магнетизмом. Он может рассказать вам о том, что если вы намагнитите иглу и подвесите ее за середину так, чтобы она двигалась свободно, то один ее конец укажет север. Если вы имеете другую магнитную иглу, то вы можете свести вместе два северных полюса и заметить, что они не притягиваются, а отталкиваются друг от друга. Физик может объяснить вам, что если вы нагреете магнитный железный брусок или ударите его, то он утратит свою магнитную силу. Все это — качественные законы, которые могут быть выражены в логической форме «если ..., то». Пункт, который я хочу подчеркнуть, состоит в следующем: для научного объяснения недостаточно вводить просто новые факторы, давая им новые имена. Вы должны также ссылаться на законы.

Дриш не обращается к законам. Он не определяет, чем энтелехия дуба отличается от энтелехии козла или жирафа. Он не классифицирует свои энтелехии. Он просто классифицирует организмы и говорит, что каждый организм имеет свою собственную энтелехию. Он не формулирует законы, устанавливающие, при каких условиях энтелехия усиливается или ослабляется. Конечно, он описывает все виды органических явлений и дает для них общие правила. Он говорит о том, что если вы отрежете у морского ежа конечность определенным образом, то еж не выживет. Если же вы отрежете другим способом, то еж выживет, но у него вырастет лишь неполная конечность. Если разрез сделать другим способом и на определенной стадии роста морского ежа, то конечность восстановится снова и полностью. Все эти утверждения полностью согласуются с законами зоологии.

«Что вы добавите к этим эмпирическим законам, — спрашивали мы Дриша, — если затем выскажете нам, что все явления, охватываемые этими законами, обязаны энтелехии морского ежа?»

Мы верили, что ничего здесь не может быть добавлено. Поскольку понятие энтелехии не дает нам нового закона, оно не объясняет больше, чем уже известные универсальные законы. По крайней мере оно не помогает нам делать новые предсказания. По этим причинам мы не можем сказать, что оно увеличивает наши научные знания. Сначала может показаться, что понятие энтелехии что-то добавляет к нашему научному объяснению, но когда мы исследуем его глубже, мы увидим его пустоту. Она есть псевдообъяснение.

Могут возразить, что понятие энтелехии не является бесполезным, если оно обеспечивает биологу новую ориентацию, новый метод упорядочения биологических законов. Мы можем на это ответить, что оно действительно будет полезным, если с его помощью может быть сформулирован более общий закон, чем законы, сформулированные ранее. В физике, например, такую роль играет понятие энергии. Физики девятнадцатого столетия предполагали, что некоторые явления, такие, как кинетическая и потенциальная энергия в механике, теплота (это было до открытия, что теплота есть просто кинетическая энергия молекул), энергия магнитного поля и т. д., могут быть проявлением одного основного вида энергии. Это привело к экспериментам, показавшим, что механическая энергия может быть преобразована в теплоту, а теплота в механическую энергию, но при этом величина энергии остается постоянной. Таким образом, понятие энергии оказалось плодотворным понятием, потому что оно привело к более общему закону, такому, как закон сохранения энергии. В этом смысле понятие энтелехии Дриша было бесплодным. Оно не привело к открытию более общих биологических законов.

В дополнение к тому, что законы науки обеспечивают *объяснение* наблюдаемых фактов, они служат также *средством предсказания* новых фактов, которые еще не наблюдались. Логическая схема предсказания точно та же, что и схема, лежащая в основе объяснения. Как вы помните, символически она может быть выражена так:

$$1)\ (x)(Px \supset Qx);$$

$$2)\ Pa;$$

$$3)\ Qa.$$

Во-первых, мы имеем универсальный закон: для любого объекта x, если он имеет свойство P, то имеет также свойство Q. Во-вторых, мы имеем утверждение, что объект a имеет свойство P. В-третьих, мы выводим с помощью элементарной логики, что объект a имеет свойство Q. Эта схема лежит как в основе объяснения, так и предсказания, только ее отличие заключается в знании ситуации. При объяснении факт Qa уже известен. Мы объясняем факт Qa, показывая, как он может быть выведен из утверждений 1 и 2. При предсказании Qa как факт *еще неизвестен.* Мы имеем закон и факт Pa. Мы заключаем, что Qa должен быть фактом даже тогда, когда он еще не наблюдался. Например, я знаю закон теплового расширения. Я знаю также, что я нагрел некоторый стержень. Применяя логику к вышеуказанной схеме, я заключаю, что если теперь измерить стержень, то он окажется длиннее, чем прежде.

В большинстве случаев неизвестные факты в действительности оказываются будущими событиями (например, астроном предсказывает время следующего солнечного затмения). Вот почему я использую термин «предсказание» для этого второго способа применения законов. Однако нет необходимости в том, чтобы предсказание понималось в буквальном смысле. Во многих случаях неизвестные факты являются одновременно и известными фактами, как в примере с нагретым стержнем. Расширение стержня происходит одновременно с его нагреванием. Только мы наблюдаем это расширение после нагревания.

В других случаях неизвестные факты могут даже относиться к прошлому. На основе психологических законов и некоторых фактов, извлеченных из исторических документов, историк делает заключение о некоторых неизвестных фактах истории. Астроном может вывести заключение, что лунное затмение должно было произойти в определенное время в прошлом. Геолог на основании бороздчатости валунов может сделать заключение, что некогда в прошлом данная область была покрыта ледником. Я использую термин «предсказание» для всех этих примеров, потому что в каждом случае мы имеем ту же самую логическую схему и ту же ситуацию знания — известный факт и известный закон, из которых выводится неизвестный факт.

Во многих случаях соответствующие законы могут быть скорее статистическими, чем универсальными. Тогда предсказание будет только вероятным. Метеоролог, например, имеет дело одновременно с точными физическими законами и различными статистическими законами. Он не может сказать, что завтра будет дождь, он может только сказать, что дождь очень вероятен.

Эта неопределенность также характерна для предсказаний человеческого поведения. На основе знания некоторых психологических законов статистического характера и некоторых факторов о данном лице мы можем предсказать с различной степенью вероятности, как он поведет себя. Возможно, мы попросим психолога рассказать нам, какой эффект некоторое событие окажет на нашего ребенка. Он ответит: «Насколько я понимаю ситуацию, ваш ребенок, вероятно, будет реагировать таким-то путем. Конечно, законы психологии не очень точны. Это — молодая наука, и поэтому мы еще очень мало знаем о ее законах. Но на основе того, что я знаю, я рекомендую, чтобы вы планировали...» И таким образом, он дает нам совет, основанный на наилучшем предсказании, которое он может сделать о будущем поведении нашего ребенка, руководствуясь вероятностными законами.

Когда закон является универсальным, тогда для заключений о неизвестных фактах используется элементарная дедуктивная логика. Если закон является статистическим, мы должны использовать другую логику — логику вероятности. Приведем простой пример: закон устанавливает, что 90% постоянных жителей определенной области имеют черные волосы. Я знаю, что индивид — постоянный житель области, но я не знаю цвета его волос. Я могу, однако, заключить на основе статистического закона, что вероятность того, что он имеет черные волосы, равна $^9/_{10}$.

Предсказание существенно, конечно, как в повседневной жизни, так и в науке. Даже большинство тривиальных действий, которые мы осуществляем в течение дня, основывается на предсказаниях. Вы поворачиваете дверную ручку. Вы делаете так потому, что прошлые факты вместе с универсальным законом заставляют вас верить, что при поворачивании ручки дверь откроется. Вы можете не сознавать относящуюся сюда логическую схему (несомненно, вы думаете о других вещах), но все такие преднамеренные действия предполагают схему. На основе знания специфических фактов и познания определенных регулярностей, которые могут быть выражены как универсальные и статистические законы, обеспечивается база для предсказания неизвестных фактов. Предсказание входит в каждый акт человеческого поведения, который включает преднамеренный выбор. Без этого как наука, так и повседневная жизнь будут невозможными.

Глава 2

ИНДУКЦИЯ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ

В главе 1 мы предполагали, что законы науки уже имеются в нашем распоряжении. Мы видели, как такие законы используются в науке и повседневной жизни для объяснения фактов уже известных и в качестве средства предсказания фактов неизвестных. Теперь спросим себя, как мы приходим к таким законам? На чем мы основываемся, веря, что такие законы существуют? Мы знаем, конечно, что все законы основываются на наблюдениях некоторых регулярностей. В противоположность непосредственному знанию фактов законы представляют косвенное знание. На что мы опираемся, когда переходим от непосредственно наблюдаемых фактов к закону, который выражает некоторые регулярности природы? Это есть то, что в традиционной терминологии называют «проблемой индукции».

Индукция часто противопоставляется дедукции, когда говорят, что дедукция совершается от общего к специфическому или единичному, в то время как индукция совершается другим путем, а именно от единичного к общему. Это — ошибочное упрощение. Существуют виды дедуктивных умозаключений иные, чем от общего к специфическому. Индукция также содержит много различных видов умозаключений. Традиционное различие также вводит в заблуждение, потому что оно предполагает, что дедукция и индукция являются просто двумя разделами единой логики. Известная книга Джона Стюарта Милля «Система логики» содержит длинное описание того, что он называет «индуктивной логикой», и устанавливает различные правила индуктивных процедур. Теперь мы менее охотно употребляем термин «индуктивное умозаключение». Если он и используется вообще, то мы должны осознавать, что он относится к тому виду умозаключений, который существенно отличается от дедукции.

В дедуктивной логике под дедукцией понимается получение из данных посылок заключения, которое так же достоверно, как и посылки. Если вы имеете основание верить в посылки, то вы равным образом имеете основание верить в заключение, которое следует логически из посылок. Если посылки истинны, то заключение не может быть ложным. В отношении индукции ситуация совершенно иная. Об истинности индуктивного заключения никогда нельзя говорить с достоверностью. Я имею в виду не только то заключение, которое не может быть достоверным потому, что оно основывается на посылках, которые не могут быть известны с достоверностью. Даже если посылки предполагаются истинными и вывод является правильным индуктивным умозаключением, результат может оказаться ложным. Самое большее, что мы можем сказать, это то, что по отношению к данным посылкам заключение имеет некоторую степень вероятности. Индуктивная логика говорит нам о том, как вычислить значение этой вероятности.

Мы знаем, что единичное утверждение факта, полученное путем наблюдения, никогда не является абсолютно достоверным, потому что мы можем сделать ошибки в наших наблюдениях. Но в отношении к законам существует еще большая неопределенность. Любой закон, относящийся к миру, устанавливает, что в любом частном случае, в любом месте и в любое время, если одна вещь истинна, то другая вещь также истинна. Ясно, что здесь речь идет о бесконечном числе возможных случаев. Действительные случаи могут не быть бесконечными, но существует бесконечное число возможных случаев. Физиологический закон утверждает, что если вы ударите кинжалом в сердце любого человека, то он умрет. Поскольку никакого исключения из этого закона до сих пор не наблюдалось, то он принимается в качестве универсального. Верно, конечно, что многочисленные случаи такого рода, наблюдавшиеся до сих пор, являются конечными. Возможно, что в некоторый день человечество перестанет существовать. В этом случае число человеческих существ — как в прошлом, так и в будущем — будет конечным. Но мы не знаем, что человечество прекратит свое существование. Следовательно, мы должны сказать, что имеется бесконечное число возможных случаев, которые все охватываются законом. И если существует бесконечное число случаев, то никакое конечное число наблюдений, как бы велико оно ни было, не может сделать «универсальный» закон достоверным.

Конечно, мы можем продолжать и делать все большее и большее число наблюдений, производя их таким тщательным и научным образом, как это возможно, пока мы, может быть, не скажем: «Этот закон был испытан столько раз, что мы можем полностью верить в его истинность. Это хорошо установленный и вполне обоснованный закон». Если, однако, мы подумаем об этом, то увидим, что даже наилучшим образом обоснованные законы физики опираются только на конечное число наблюдений. Всегда возможно, что завтра может быть обнаружен противоречащий случай. Никогда нельзя достигнуть *полной* верификации закона. Фактически мы вообще не должны говорить о «верификации», — если под этим словом мы понимаем окончательное установление истинности, — а только о подтверждении.

Довольно интересно то, что, хотя и не существует способа, с помощью которого можно было бы верифицировать закон (в строгом смысле), имеется простой способ, с помощью которого мы можем его опровергнуть (falsiefied). Для этого необходимо найти только один противоречащий случай. Само знание о таком случае может оказаться недостоверным. Вы можете ошибиться в наблюдении или как-нибудь иначе. Но если мы предполагаем, что противоречащий случай представляет собой факт, тогда отрицание закона следует из него непосредственно. Если закон утверждает, что каждый объект, обладающий свойством P, обладает также свойством Q, а мы находим объект, обладающий свойством P, но не обладающий свойством Q, тогда закон опровергается. Миллиона положительных примеров недостаточно, чтобы верифицировать закон, но одного противоречащего случая достаточно, чтобы опровергнуть его. Ситуация здесь сильно асимметрична. Легко опровергнуть закон, но крайне трудно найти ему сильное подтверждение.

Как мы находим подтверждение закона? Если мы наблюдали большое число положительных случаев и ни одного отрицательного случая, то мы говорим, что подтверждение является сильным. Вопрос о том, насколько это подтверждение сильно и может ли оно быть выражено численно, все еще остается спорным в философии науки. Мы вернемся к этому несколько позже. Здесь мы коснемся только разъяснения того, что наша первая задача в поисках подтверждения закона состоит в том, чтобы испытать случаи, чтобы определить, являются ли они положительными или отрицательными. Это делается посредством использования нашей логической схемы для предсказаний. Закон утверждает, что (x) $(Px \supset Qx)$; следовательно, для данного объекта a, $Pa \supset Qa$. Мы пытаемся найти столько объектов, сколько можем (здесь обозначенных через «a»), обладающих свойством P. Затем мы наблюдаем, удовлетворяют ли они также условию Q. Если мы обнаружим отрицательный случай, то вопрос решен. Если же нет, то каждый положительный случай станет дополнительным свидетельством в пользу нашего утверждения.

Существуют, конечно, различные методологические правила для эффективности проверок. Например, случаи должны отличаться друг от друга настолько, насколько это возможно. Если вы проверяете закон теплового расширения, вы не должны ограничивать себя испытанием твердых тел. Если вы проверяете закон, что все металлы — хорошие проводники электричества, вы не должны ограничиться испытанием образцов из меди. Вы должны проверить столько металлов, сколько возможно, при различных условиях — горячими, холодными и т. п. Мы не касаемся множества других методологических правил для испытания. Мы только укажем, что во всех случаях закон проверяется с помощью вывода предсказаний и последующего наблюдения — имеют ли силу эти предсказания в действительности? В некоторых случаях предметы, которые мы хотим испытать, мы находим в самой природе. В других случаях мы должны воспроизвести их. Например, при испытании закона теплового расширения мы не ищем горячие предметы, а берем некоторые предметы и нагреваем их. Воспроизведение условий испытания имеет огромное преимущество, потому что мы можем легче следовать методологическому правилу разнообразия случаев. Но независимо от этого, создаем ли мы ситуацию для испытания или же находим ее в готовом виде в природе, лежащая в ее основе схема остается той же самой.

Несколько раньше я поднимал вопрос: можно ли выразить степень подтверждения закона (или единичного утверждения, которое мы предсказываем с помощью закона) в количественной форме? Вместо того чтобы говорить, что один закон «хорошо обоснован», а другой «основывается на ненадежных свидетельствах», мы можем сказать, что степень подтверждения первого закона равна 0,8, в то время как второго — только 0,2. Этот вопрос был предметом долгих споров. По моему мнению, вышеуказанная процедура законна и то, что я называю «степенью подтверждения», тождественно логической вероятности.

Такое утверждение не много значит, пока мы не узнаем, что понимают под «логической вероятностью». Почему я добавляю прилагательное «логическая»? Это не обычная практика. В большинстве книг не делается различия между разными видами вероятности, одну из которых называют «логической». Я верю, однако, что существуют два фундаментально отличных вида вероятности, и я различаю их, называя одну «статистической вероятностью», а другую — «логической вероятностью». К несчастью, то же самое слово «вероятность» употребляется в двух, значительно отличающихся смыслах. Этот недостаток в различении смысла является источником большой неразберихи в книгах по философии науки, так же как и в рассуждениях самих ученых.

Вместо термина «логическая вероятность» я иногда употребляю термин «индуктивная вероятность», потому что в моей концепции это тот вид вероятности, который мы имеем в виду всякий раз, когда делаем индуктивное умозаключение. Под «индуктивным умозаключением» я понимаю не только умозаключение от фактов к законам, но также всякое умозаключение, являющееся «недемонстративным», то есть заключение, которое не следует с логической необходимостью из посылок, когда истинность посылок гарантируется. Такие заключения должны быть выражены в степенях того, что я называю «логической», или «индуктивной», вероятностью. Чтобы яснее увидеть отличие этого вида вероятности от статистической, полезно бросить краткий взгляд на историю теории вероятностей.

Первая теория вероятностей, теперь обычно называемая «классической», была разработана в течение восемнадцатого века. Яков Бернулли (1654—1705) одним из первых написал систематический трактат по этой теории, а Реверенд Томас Бейес сделал в нее весьма важный вклад. К концу столетия великий математик и физик Пьер Симон Лаплас написал первый обширный трактат об этом предмете. Этот трактат давал исчерпывающую математическую разработку теории вероятностей и может рассматриваться как вершина классического периода.

В течение классического периода теория вероятностей применялась больше всего к таким азартным играм, как кости, карты и рулетка. В самом деле, теория вероятностей берет свое начало с того времени, когда некоторые игроки (XVII века) попросили Пьера Ферма и других математиков вычислить для них точные значения вероятностей в определенных азартных играх. Таким образом, исследование началось с конкретных проблем, а не с общей математической теории. Математики находили странным, что на вопросы такого рода можно было дать ответ, хотя и не существовало никакой знакомой области математики, пригодной для этого. Впоследствии они развили теорию комбинаторики, которая могла быть применена к проблемам случая.

Что понимали под «вероятностью» люди, которые развили классическую теорию? Они предложили определение, которое все еще встречается в элементарных книгах по вероятности: вероятность есть отношение числа благоприятствующих случаев к числу всех возможных случаев. Рассмотрим, как оно «работает» в простых примерах. Пусть кто-то говорит: «Я брошу эту кость. Каков шанс, что я буду иметь либо одно, либо два очка?» Согласно классической теории, ответ таков: существуют два «благоприятствующих» случая, то есть случая, удовлетворяющих условиям, охарактеризованным в вопросе. Всего же имеется шесть возможных способов падения кости. Отношение благоприятствующих к возможным случаям составляет, следовательно, 2 : 6 или 1 : 3. Мы ответили на вопрос, сказав, что имеется вероятность, равная $^1/_3$, выпадения одного или двух очков.

Все это кажется совершенно ясным, даже очевидным, но существует одно важное препятствие для теории. Классические авторы говорят, что прежде, чем применить их определение вероятности, необходимо гарантировать, что все рассматриваемые случаи являются равновероятными. Теперь, кажется, мы очутились в порочном круге. Мы попытались определить, что мы понимаем под вероятностью и в процессе определения использовали понятие «равновероятности». Фактически защитники классической теории не выдвигают именно этот термин. Они говорят, что случаи должны быть «равновозможными». Равновозможность в свою очередь определяется с помощью известного принципа, который они называют «принципом недостаточного основания». В настоящее время его обычно называют «принципом индифференции». Если вы не знаете какого-либо основания, почему один случай должен встречаться чаще, чем другой, тогда эти случаи равновозможны.

Таков вкратце был способ определения вероятности в классический период. На классическом подходе была построена исчерпывающая математическая теория, но единственный вопрос, который интересует нас здесь, таков: является ли основание этой теории — классическое определение вероятности — адекватным для науки?

Постепенно в течение девятнадцатого столетия раздалось несколько критических голосов против классического определения. В двадцатом веке, примерно в 1920 году, Рихард Мизес и Ганс Рейхенбах подвергли классический подход резкой критике[1]. Мизес говорит, что «равновозможность» не может быть понята иначе, чем в смысле «равновероятности». Если, однако, она действительно понимается в таком смысле, тогда мы попадаем в порочный круг. Классическая традиция, утверждает Мизес, содержит порочный круг и поэтому несостоятельна.

Мизес выдвигал еще одно возражение. Он соглашался, что в некоторых простых случаях мы можем полагаться на здравый смысл, который говорит нам, что некоторые события являются равновозможными. Мы можем сказать, что выпадения герба и решки представляют равновозможные исходы при бросании монеты, потому что мы не знаем никакого основания, почему выпадение одного из них должно случиться скорее, чем другого. Аналогично обстоит дело с рулеткой. Не существует никакого основания, почему шарик должен упасть в одно отделение скорее, чем в другое. Если игральные карты того же самого размера и формы и с одинаковой «рубашкой» хорошо перемешаны, тогда одна карта может достаться игроку с такой же вероятностью, как и любая другая. Снова условия равновозможности выполняются. Но, продолжает Мизес, ни один из классических авторов не указывает, как это определение вероятности может быть применено ко многим другим ситуациям. Рассмотрим таблицы смертности. Страховые компании должны знать, например, вероятность того, что сорокалетний мужчина в Соединенных Штатах Америки, не страдающий никакой серьезной болезнью, доживет до той же самой даты в следующем году. Они должны быть в состоянии вычислять вероятности такого сорта, потому что они являются основой, по которой компания определяет свои проценты.

Что, спрашивает Мизес, является равновозможным случаем для мужчины? Мистер Смит прибегает к страхованию жизни. Компания посылает к нему доктора. Доктор докладывает, что Смит не страдает никакой серьезной болезнью и его свидетельство рождения пока-

---

[1] О взглядах Мизеса и Рейхенбаха см.: Richard von Mises, Probability, Statistics and Truth, New York, Macmillan, 1939; and Hans Reichenbach, The Theory of Probability, Berkeley, California, University of California Press, 1949.

зывает, что ему сорок лет. Компания просматривает таблицы смертности, затем на основе вероятной продолжительности жизни[1] предлагает ему страхование на определенную сумму. Мистер Смит может умереть прежде, чем он достигнет сорока одного года, или же он может дожить до ста лет. Вероятность прожить больше одного года будет снижаться по мере того, как он становится старше. Предположим, что он умрет в сорок пять лет. Это плохо для страховой компании, потому что он уплатил только небольшую страховую сумму, а теперь компания должна выплатить 20 000 долларов его наследникам. Где здесь равновозможные случаи? Мистер Смит может умереть в возрасте сорока, сорока одного, сорока двух лет и т. д. Это возможные случаи. Но они не равновозможны. То, что он умрет в возрасте ста двадцати лет, крайне невероятно.

Подобная ситуация, указывает Мизес, господствует при применении вероятности в общественных науках, предсказании погоды и даже в физике. Эти ситуации не похожи на азартные игры, в которых возможные исходы могут быть точно разделены на n взаимоисключающих, полностью исчерпывающих случаев, удовлетворяющих условиям равновозможности. Небольшое тело из радиоактивного вещества будет в следующую секунду либо испускать α-частицу, либо нет. Вероятность того, что оно будет испускать частицу, равна, скажем, 0,0374. Где здесь равновозможные случаи? Их не существует. Мы имеем только два случая: в следующую секунду либо будет испускаться α-частица, либо нет. В этом состояла основная критика Мизесом классической теории.

С конструктивной точки зрения как Мизес, так и Рейхенбах должны были сказать вот что. То, что мы действительно понимаем под вероятностью, не имеет ничего общего со счетом случаев. Она представляет измерение «относительной частоты». Под «абсолютной частотой» мы понимаем полное число объектов или событий, например число людей в Лос-Анджелесе, которые умерли в прошлом году от туберкулеза. Под «относительной частотой» разумеют отношение этого числа к числу

[1] Статистических данных, выведенных для каждого возраста. — *Прим. перев.*

членов более обширного класса, который исследуется, скажем, к полному числу жителей Лос-Анджелеса.

Мы можем говорить о вероятности выпадения некоторой грани, утверждает Мизес, не только в случае правильной кости, когда она составляет $^1/_6$, но также в случае всех видов утяжеленной кости. Предположим, кто-то утверждает, что кость утяжелена и вероятность выпадения на ней одного очка равна не $^1/_6$, а меньше, чем $^1/_6$. Кто-то другой скажет: «Я согласен с вами в том, что кость утяжелена, но не тем способом, который вы полагаете. Я думаю, что вероятность выпадения одного очка больше, чем $^1/_6$». Как указывает Мизес, чтобы узнать, что понимают два человека под различными утверждениями, мы должны посмотреть на способ, с помощью которого они пытаются установить свои доводы. Они будут, конечно, делать эмпирические испытания. Они будут многократно бросать кость, учитывая при этом число бросаний и число очков.

Сколько раз они бросят кость? Предположим, что они сделают 100 бросаний и обнаружат, что одно очко появится 15 раз. Это немного меньше, чем $^1/_6$ от 100. Не будет ли это доказывать, что первый человек прав? «Нет», — может сказать другой. «Я по-прежнему думаю, что вероятность больше, чем $^1/_6$. Одной сотни бросаний недостаточно для точного испытания». Возможно, эти люди продолжат бросания кости, пока не достигнут 6000 бросаний. Если очко появится меньше 1000 раз, второй человек может отказаться от спора. «Вы правы, — скажет он, — это меньше, чем $^1/_6$».

Почему эти люди остановились на 6000? Может быть, они устали от таких бросаний. Возможно, они заключили пари на доллар по поводу способа утяжеления кости, и просто за доллар не хотят потратить более трех дней на дополнительные бросания. Но решение остановиться на 6000 — чисто произвольно. Если после 6000 бросаний число очков очень близко к 1000, они могут считать вопрос все еще не решенным. Небольшое отклонение может быть обязано скорее случаю, чем физической природе самой кости. В конечном итоге физическая природа может вызвать отклонение в противоположном направлении. Чтобы сделать испытание более доказательным, люди могут согласиться продолжить бросания до 60 000. Ясно, что не существует никакого конечного числа бросаний, какое бы оно ни было большое, на котором они могли бы остановить испытания и с твердой уверенностью сказать, что вероятность выпадения одного очка есть $^1/_6$ или меньше или больше, чем $^1/_6$.

Поскольку никакого конечного числа испытаний недостаточно для точного определения вероятности, то как можно эту вероятность определить в терминах частоты? Мизес и Рейхенбах предложили определять ее не как относительную частоту конечной последовательности случаев, а как *предел* относительной частоты в бесконечной последовательности. (Это было именно то определение, которое отличает взгляды Мизеса и Рейхенбаха от взглядов Р. А. Фишера в Англии и других статистиков, также критиковавших классическую теорию. Они вводят частотное понятие вероятности не с помощью определения, а как исходный, неопределяемый термин в аксиоматической системе.) Конечно, Мизес и Рейхенбах хорошо сознавали, хотя их часто критиковали так, будто бы они этого не понимали, что никакой наблюдатель не может иметь в своем распоряжении бесконечную последовательность наблюдений. Но я думаю, что их критики ошибались, когда говорили, что новое определение вероятности не имеет никакого применения. Как Рейхенбах, так и Мизес показали, что на основе их определения могут быть выведены многие теоремы и с помощью этих теорем мы можем сказать нечто существенное. Мы не можем сказать с достоверностью, каково значение вероятности, но если последовательность достаточно длинна, то можно утверждать, что это значение вероятности является *вероятным*. В примере с игральной костью мы можем сказать, что вероятность того, что значение вероятности выпадения одного очка будет больше $^1/_6$, очень мала. Возможно даже, что вероятность этого значения вероятности может быть вычислена. Тот факт, что в определении вероятности используется понятие предела и делается ссылка на бесконечную последовательность, вызывает, конечно, трудности и сложности как логические, так и практические. Однако они не делают определение бессмысленным, как это утверждают некоторые их критики.

Рейхенбах и Мизес согласны со взглядом, что понятие вероятности, основанное на пределе относительной частоты бесконечной последовательности, является единственным понятием, приемлемым в науке. Классическое определение, выведенное из принципа индифференции, было найдено неадекватным. Никакое новое определение, которое превосходило бы старое, кроме определения Мизеса и Рейхенбаха, не было предложено. Но теперь сразу же возникает трудный вопрос об отдельном случае. Новое определение очень хорошо подходит к статистическим явлениям, но как оно может быть применено к отдельному случаю? Метеоролог объявляет, что вероятность того, что завтра будет дождь, есть $^2/_3$. Слово «завтра» относится здесь к одному частному дню, а не к какому-либо другому. Подобно случаю со смертью человека в проблеме страхования жизни, это есть единичное, неповторимое событие. Однако мы хотим приписать ему вероятность. Как это может быть сделано на основе частотного определения?

Мизес думал, что это не может быть сделано. Таким образом, вероятные утверждения для отдельных случаев должны быть исключены. Рейхенбах, однако, сознавал, что как в науке, так и в повседневной жизни мы постоянно делаем вероятностные утверждения об отдельных событиях. Поэтому будет полезно, думал он, найти правдоподобную интерпретацию для таких утверждений. Для предсказания погоды легко дать такую интерпретацию. Метеоролог имеет в своем распоряжении большое число отчетов о прошлых наблюдениях, так же как данных относительно погоды на сегодня. Он находит, что сегодняшняя погода принадлежит к некоторому классу и что в прошлом, когда встречалась погода такого рода, относительная частота, с которой ожидался дождь на следующий день, была $^2/_3$. Тогда, согласно Рейхенбаху, метеоролог делает «ставку», то есть он полагает, что наблюдаемая частота $^2/_3$, основанная на конечной, но довольно длительной серии наблюдений, является также пределом бесконечной последовательности. Иными словами, он оценивает предел, который должен быть вблизи $^2/_3$. Затем он делает утверждение: «Вероятность дождя на завтра есть $^2/_3$».

Утверждение метеоролога, настаивает Рейхенбах, должно рассматриваться как эллиптическое. Если он раскроет его полное значение, то должен сказать: «Согласно нашим прошлым наблюдениям, то состояние погоды, которое мы наблюдали сегодня, должно сопровождаться дождем с частотой $^2/_3$». В сокращенном утверждении кажется, что вероятность применяется к отдельному случаю, но это только манера речи. В действительности же утверждение касается относительной частоты в длительной последовательности (случаев). То же самое верно в отношении утверждения: «При следующем бросании кости вероятность выпадения одного очка есть $^1/_6$». «Следующее бросание», подобно «завтрашней погоде», есть отдельное, единственное в своем роде событие. Когда мы приписываем ему вероятность, мы в действительности эллиптически говорим об относительной частоте в длительной серии бросаний.

Таким способом Рейхенбах нашел интерпретацию для утверждений, приписывающих вероятность отдельному событию. Он даже пытался найти интерпретацию для утверждений, приписывающих вероятность общим гипотезам в науке. Мы не будем входить в обсуждение этого вопроса, потому что он более сложен и потому что (в противоположность его интерпретации вероятности единичных предсказаний) он не нашел общего признания.

Последующий важный шаг в истории развития теории вероятностей был связан с выдвижением *логической* концепции. Она была предложена после 1920 года Джоном Мейнардом Кейнсом — известным британским экономистом — и с того времени разрабатывалась многими авторами. В настоящее время происходят оживленные споры между защитниками этой логической концепции и теми, кто склоняется к частотной интерпретации. В следующей главе будет обсуждаться этот спор и способ, с помощью которого, я думаю, он должен быть решен.

Глава 3

ИНДУКЦИЯ И ЛОГИЧЕСКАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ

Для Джона Мейнарда Кейнса вероятность была логическим отношением между двумя высказываниями. Он не только не пытался определить это отношение, но даже заходил настолько далеко, что утверждал, что вообще никакое определение не может быть сформулировано.

Только посредством интуиции, настаивал он, мы можем понять, что означает вероятность. В своем «Трактате по вероятности»[1] он дал несколько аксиом и определений, выраженных на языке символической логики, но они не очень обоснованы с современной точки зрения. Некоторые из кейнсовских аксиом фактически являлись определениями, а некоторые определения в действительности были аксиомами. Но его книга интересна с философской точки зрения, в особенности те главы, в которых он обсуждает историю теории вероятностей и то, что мы можем узнать сегодня о ранних точках зрения. Его главным утверждением было то, что, когда мы делаем вероятностное утверждение, мы делаем утверждение не о мире, а только о логическом отношении между двумя другими утверждениями. Мы говорим только то, что одно утверждение имеет такую-то вероятность относительно другого утверждения.

Я написал: «Такую-то». Фактически Кейнс был более осторожен. Он сомневался в том, что вероятность в общем случае может быть сделана количественным понятием, то есть понятием с численным значением. Он соглашался, конечно, что это может быть сделано в определенных случаях, таких, как бросание кости, в которых применяется старый принцип индифференции. Игральная кость симметрична, все ее грани подобны, мы не имеем никакого основания подозревать, что она утяжелена, и т. п. То же самое верно относительно других азартных игр, в которых условия тщательно подбираются так, чтобы обеспечить физическую симметрию или, по крайней мере, симметрию в отношении нашего знания и незнания. Колеса рулетки делаются так, чтобы ее различные секторы были равны. Колесо тщательно балансируется, чтобы исключить какой-либо уклон, который может привести к тому, что шарик остановится скорее у одного числа, чем у другого. Если кто-то бросает монету, то мы не имеем никакого основания предполагать, что решка выпадет скорее, чем герб.

В ограниченных ситуациях такого рода, говорит Кейнс, мы можем законно применить нечто подобное классическому определению вероятности. Он соглашался

---

[1] John Maynard Keynes, Treatise on Probability, London, Macmillan, 1921.

с другими критиками принципа индифференции, что этот принцип в классический период использовался слишком в широком смысле и ошибочно применялся ко многим ситуациям, таким, как предсказание того, взойдет ли завтра солнце. Верно, говорил он, что в азартных играх и других простых ситуациях принцип индифференции применим, и вероятности может быть дано численное значение. Однако, в большинстве ситуаций мы не имеем способа определения равновозможных случаев и, следовательно, никакого обоснования для применения принципа индифференции. В таких случаях, говорил Кейнс, мы не должны использовать численные значения. Его позиция была осторожной и скептической. Он не хотел идти слишком далеко, чтобы не вступить в такую область, которую он рассматривал как тонкий лед. Поэтому он ограничивал количественную часть своей теории. Во многих ситуациях, в которых мы не колеблясь заключаем пари, приписывая численное значение вероятности предсказаний, Кейнс предостерегал против такой практики.

Второй важной фигурой, положившей начало современному логическому подходу к вероятности, был Гарольд Джеффрис — английский геофизик. В его «Теории вероятности» («Theory of Probability»), впервые опубликованной в 1939 году издательством Оксфордского университета, защищается концепция, весьма близкая к концепции Кейнса. Когда Кейнс издал свою книгу (она вышла в свет в 1921 году, а написал он ее, вероятно, в 1920 году), только что появились первые публикации, по вероятности Мизеса и Рейхенбаха. Кейнс, по-видимому, не знал о них. Он критиковал частотный подход, но не обсуждал его в деталях. К тому времени, когда Джеффрис написал свою книгу, частотная интерпретация была полностью развита, поэтому он гораздо более явно имел дело с ней.

Джеффрис решительно говорил, что частотная теория целиком ошибочна. Он подтверждал мысль Кейнса о том, что вероятность относится не к частоте, а к логическому отношению. Джеффрис был гораздо смелее осторожного Кейнса. Он верил, что численное значение *может* быть приписано вероятности в гораздо большем числе ситуаций, в частности во всех тех ситуациях, в которых применяется математическая статистика. Он хотел иметь дело с теми же самыми проблемами, которые интересовали Р. А. Фишера и других статистиков, но хотел разрабатывать их на основе другого понятия вероятности. Поскольку он использовал принцип индифференции, я полагаю, что некоторые его результаты вызывают те же самые возражения, которые выдвигались против классической теории. В его книге трудно, однако, найти специфические утверждения для критики. Его аксиомы, взятые одна за другой, приемлемы. Только тогда, когда он пытался вывести теоремы из одной аксиомы, он, по моему мнению, заблуждался.

Указанная аксиома формулировалась Джеффрисом так: «При имеющихся данных мы приписываем большее число более вероятному высказыванию (и, таким образом, равные числа равновероятным высказываниям)». Часть этого предложения, заключенная в скобки, очевидно, говорит только о том, что если *p* и *q* равновероятны на основе свидетельства *r*, тогда в качестве значений вероятности *p* и *q* должны быть приписаны равные числа относительно свидетельства *r*. Это утверждение ничего не говорит нам об условиях, при которых мы должны рассматривать *p* и *q* как равновероятные относительно *r*. В своей книге нигде, кроме этого места, Джеффрис не уточнял этих условий. Позже он, однако, интерпретировал эту аксиому самым удивительным образом, чтобы установить теоремы о научных законах. «Если не имеется никакого основания верить в одну гипотезу больше, чем в другую, — писал он, — тогда вероятности их равны». Иными словами, если у нас недостаточно данных, чтобы решить, является ли *какая-либо* теория истинной или ложной, тогда мы должны заключить, что теория имеет вероятность, равную $1/2$.

Является ли это законным использованием принципа индифференции? По моему мнению, такое использование принципа справедливо осуждалось критиками классической теории. Если принцип индифференции должен быть использован вообще, тогда в ситуации должна быть симметрия некоторого вида, такая, как равенство граней игральной кости или секторов колеса рулетки, позволяющая нам говорить о том, что некоторые случаи являются равновероятными. При отсутствии такой симметрии в логических или физических чертах ситуации необоснованно предполагать равенство вероятностей просто потому, что мы ничего не знаем об относительных достоинствах конкурирующих гипотез.

Простая иллюстрация сделает эту мысль яснее. Согласно интерпретации Джеффрисом своей аксиомы, мы можем предполагать с вероятностью, равной $^1/_2$, что на Марсе существуют живые организмы, потому что мы не имеем достаточного основания верить как в эту гипотезу, так и в ее отрицание. Рассуждая подобным же образом, мы можем сказать, что вероятность того, что на Марсе существуют животные, равна $^1/_2$. Вероятность того, что там имеются человеческие существа, равна также $^1/_2$. Каждое из этих утверждений, рассматриваемое само по себе, есть утверждение, о котором мы не имеем достаточных свидетельств, полученных тем или иным способом. Но эти утверждения относятся друг к другу таким образом, что они не могут иметь то же самое значение вероятности. Второе утверждение сильнее, чем первое, потому что оно влечет первое, в то время как первое не влечет второго. Таким образом, второе утверждение менее вероятно, чем первое. То же самое отношение существует между третьим и вторым утверждениями. Мы должны, следовательно, быть крайне осторожными даже при применении модифицированного принципа индифференции, или же мы, вероятно, впадем в противоречия.

Книга Джеффриса резко критиковалась специалистами по математической статистике. Я согласен с их критикой только в отношении немногих мест, где Джеффрис выводит теоремы, которые не могут быть выведены из его аксиом. С другой стороны, мне бы хотелось сказать, что как Кейнс, так и Джеффрис были пионерами, работавшими в правильном направлении[1]. Моя собственная работа по вероятности идет в том же самом направлении. Я разделяю их точку зрения, что логическая вероятность представляет логическое отношение. Если

---

[1] Детальную оценку работ Кейнса и Джеффриса и других, которые защищают логическую вероятность, можно найти в разд. 62 моей книги «Logical Foundations of Probability» («Логические основания вероятности»), (Chicago: University of Chicago Press, 1950). Шесть неспециальных разделов этой книги были перепечатаны в виде небольшой монографии «The Nature and Application of Inductive Logic» («Природа и применение индуктивной логики»), (Chicago: University of Chicago Press, 1951).

вы высказываете суждение, утверждающее, что для данной гипотезы логическая вероятность по отношению к данному свидетельству есть 0,7, тогда полное утверждение является аналитическим. Это означает, что утверждение следует из определения логической вероятности (или из аксиом логической системы) без ссылки на что-либо, кроме логической системы, то есть без ссылки на структуру действительного мира.

В моей концепции логическая вероятность представляет логическое отношение, в чем-то сходное с логической импликацией. Действительно, я думаю, что вероятность может рассматриваться как частичная логическая импликация. Если свидетельство является таким сильным, что гипотеза логически следует из него — логически имплицируется им, — тогда мы имеем один крайний случай, при котором вероятность равна 1. (Вероятность, равная 1, встречается также в других случаях, но это есть один специальный случай, где она встречается.) Подобным же образом, если отрицание гипотезы логически имплицируется свидетельством, тогда вероятность гипотезы есть 0. Между ними имеется континуум случаев, о которых дедуктивная логика не говорит нам ничего, кроме отрицательного утверждения, что ни гипотеза, ни ее отрицание не могут быть выведены из свидетельства. В этом континууме должна занять свое место индуктивная логика. Но индуктивная логика, подобно дедуктивной, имеет отношение исключительно к рассматриваемым утверждениям, а не к фактам природы. С помощью логического анализа установленной гипотезы h и свидетельства e мы заключаем, что h не логически имплицируется, а, так сказать, частично имплицируется e в такой-то степени.

В этом пункте, по моему мнению, мы имеем основание приписывать численное значение вероятности. Если это возможно, то нам бы хотелось построить систему индуктивной логики такого рода, чтобы любой паре предложений — одному, утверждающему свидетельство e, и другому, устанавливающему гипотезу h, — мы могли приписать число, характеризующее логическую вероятность h относительно e. (Мы не рассматриваем тривиальный случай, когда предложение e противоречиво. В таком случае h не может быть приписано никакое значение вероятности.) Мной успешно развиты возможные определения таких вероятностей для очень простых языков, содержащих только одноместные предикаты, и задача теперь состоит в том, чтобы достичь прогресса в распространении теории на более обширные языки. Конечно, если полная индуктивная логика, которую я пытаюсь построить на этой основе, должна иметь какую-либо реальную ценность для науки, то она, вероятно, в конечном счете будет применима к такому количественному языку, какой мы имеем в физике, в которой существуют не только одно- или двухместные предикаты, но также такие численные величины, как масса, температура и т. п. Я верю, что это возможно, и основные принципы, входящие в физику, те же самые, что и принципы, которыми мы руководствовались при построении индуктивной логики для простых языков, содержащих одноместные предикаты.

Когда я говорю, что считаю возможным применить индуктивную логику к языку науки, я не имею в виду, что возможно сформулировать совокупность правил, фиксируемых раз и навсегда, которые бы автоматически, в любой области приводили от фактов к теориям. Кажется сомнительным, например, что можно сформулировать правила, которые позволяли бы ученому обозреть сотни тысяч предложений, выражающих различные отчеты о наблюдениях, и затем путем механического применения этих правил найти общую теорию (систему законов), которая объяснила бы наблюдаемые явления. Это обычно невозможно сделать, потому что теории, в частности более абстрактные, имеют дело с такими ненаблюдаемыми объектами, как частицы и поля, и используют понятийную структуру, которая превосходит структуру, используемую для описания наблюдаемого материала. При создании новой системы теоретических понятий и с ее помощью теории нельзя просто следовать механической процедуре, основанной на фиксированных правилах. Для этого требуется творческая изобретательность. Этот пункт иногда выражают посредством утверждения, что не может быть индуктивной машины, то есть вычислительной машины, в которую мы могли бы ввести все предложения, относящиеся к наблюдениям, и на выходе получить точную систему законов, которые объяснили бы наблюдаемое явление. Я согласен, что не может быть создана индуктивная машина, если цель машины состоит в изобретении новых теорий. Я верю, однако, что может быть построена индуктивная машина со значительно более скромной целью. Если даны некоторые наблюдения *e* и гипотеза *h* (в форме, скажем, предсказания или даже множества законов), тогда я уверен, что во многих случаях путем чисто механической процедуры возможно определить логическую вероятность, или степень подтверждения *h* на основе *e*. Для этого понятия вероятности я употребляю также термин «индуктивная вероятность», потому что убежден, что это есть основное понятие, которое входит во все индуктивные рассуждения, и главная задача индуктивного рассуждения состоит в оценке этой вероятности.

Если мы рассмотрим современную ситуацию в теории вероятностей, то обнаружим споры между защитниками частотной теории и теми, кто, подобно Кейнсу, Джеффрису и мне, говорит в терминах логической вероятности. Имеется, однако, одно важное отличие между моей концепцией и позицией Кейнса и Джеффриса. Они отрицают частотное понятие вероятности. Я нет. Я считаю, что частотное понятие вероятности, называемое также статистической вероятностью, является хорошим научным понятием, вводится ли оно путем явного определения, как в системах Мизеса и Рейхенбаха[1], или же определяется с помощью аксиом и правил практического применения (без явного определения), как это делается в современной математической статистике. В обоих случаях я рассматриваю это понятие как важное для науки. По моему мнению, логическое понятие вероятности есть второе понятие, полностью иной природы, хотя и одинаково важное.

Утверждения, приписывающие значения статистической вероятности, не являются чисто логическими. Они представляют фактические высказывания в языке науки. Когда медик говорит, что вероятность того, что пациент будет положительно реагировать на некоторую инъекцию, «очень хороша» (или, возможно, он использует численное значение и скажет, что она равна 0,7), то он делает утверждение в медицинской науке. Когда физик

---

[1] Наряду с явным определением Рейхенбах прибегает и к аксиоматическому построению теории вероятностей. Правда, впоследствии он дает своим аксиомам частотную интерпретацию. — *Прим. перев.*

говорит, что вероятность некоторого радиоактивного явления такая-то, то он делает утверждение в физике. Понятие статистической вероятности есть естественнонаучное, эмпирическое понятие. Высказывания о статистической вероятности являются «синтетическими» утверждениями, утверждениями, которые не могут быть разрешены логикой, а основываются на эмпирических исследованиях. В этом пункте я полностью согласен с Мизесом, Рейхенбахом и статистиками. Когда мы говорим, что «статистическая вероятность выпадения очка при бросании данной игральной кости составляет 0,157», то мы устанавливаем научную гипотезу, которая может быть проверена только посредством серии наблюдений. Это эмпирическое утверждение, потому что только эмпирическое исследование может подтвердить его.

С развитием науки вероятностные утверждения такого рода, по-видимому, будут становиться все более важными не только в общественных науках, но также и в современной физике. Статистическая вероятность входит не только в те области, где она необходима из-за незнания (как в общественных науках или физике, когда физик вычисляет путь молекулы в жидкости), но и в качестве существенного фактора в основные принципы квантовой теории. Вот почему крайне важно для науки иметь теорию статистической вероятности. Такие теории были развиты статистиками и, иным путем, Мизесом и Рейхенбахом.

С другой стороны, мы также нуждаемся в понятии логической вероятности. Оно особенно полезно в метанаучных высказываниях, то есть высказываниях о науке. Мы говорим ученому: «Вы заявляете мне, что я могу положиться на этот закон, делая некоторые предсказания. Как надежно установлен закон? В какой мере заслуживает доверия предсказание?» Сегодня ученый может ответить или не ответить на метанаучный вопрос такого рода в количественных терминах. Но я уверен, что, как только индуктивная логика будет достаточно развита, он сможет ответить: «Эта гипотеза подтверждается в степени 0,8 на основе известных свидетельств». Ученый, отвечающий таким образом на вопрос, высказывает утверждение о логическом отношении между свидетельством и рассматриваемой гипотезой. Род вероятности, который он имеет в виду, я называю также «степенью подтверждения». Его утверждение о том, что значение этой вероятности равно 0,8, в этом контексте является не синтетическим (эмпирическим), а аналитическим высказыванием. Оно является аналитическим потому, что не требует никакого эмпирического исследования. Оно выражает логическое отношение между предложением, которое формулирует свидетельство, и предложением, которое формулирует гипотезу.

Заметьте, что при формулировании аналитических утверждений о вероятности всегда необходимо явно характеризовать свидетельство. Ученый не должен говорить: «Гипотеза имеет вероятность 0,8». Он должен добавить: «в отношении к такому-то свидетельству». Если это не добавляется, тогда его высказывание может быть понятно как утверждение о статистической вероятности. Если он имеет в виду логическую вероятность, тогда его высказывание представляет собой эллиптическое высказывание, в котором пропущена важная часть. В квантовой теории, например, часто трудно узнать, имеет ли физик в виду статистическую или логическую вероятность. Физики обычно не проводят такого различия. Они говорят так, как если бы имелось одно-единственное понятие вероятности, с которым они работают. «Мы имеем в виду тот вид вероятности, который удовлетворяет обычным аксиомам теории вероятностей», — могут сказать они. Но обычным аксиомам теории вероятностей удовлетворяют оба понятия, поэтому это замечание не разъясняет вопроса о том, какой тип вероятности они точно имеют в виду.

Подобная же неясность обнаруживается в высказываниях Лапласа и других авторов, разрабатывавших классическую концепцию вероятности. Они не осознавали, как это мы делаем сегодня, различие между логической и частотной вероятностью. По этой причине не всегда можно определить, какое понятие вероятности они имели в виду. Я убежден, однако, что большей частью, но не всегда, конечно, они имели в виду логическое понятие. Мизес и другие частотники, по моему мнению, не всегда были правы в своей критике классической школы. Мизес считал, что там не существовало никакого другого научного понятия вероятности, кроме частотного, поэтому он предполагал, что если авторы классического периода вообще что-либо понимали под «вероятностью», то они должны были иметь в виду статистическую вероятность. Конечно, они не были в состоянии сказать явно и отчетливо, что они понимали под устойчивой относительной частотой (in the long run), но, согласно Мизесу, это есть именно то, что они имели в виду. Я не согласен с этим. Я уверен, что когда представители классической теории делали некоторые утверждения об априорной вероятности, то они говорили о логической вероятности, которая является аналитической и, таким образом, *может* быть известна априори. Я не рассматриваю эти утверждения как нарушение принципа эмпиризма, как это делают Мизес и Рейхенбах.

Позвольте мне добавить одно предостережение. После того как я выразил этот взгляд в моей книге по вероятности, многие коллеги — некоторые из них мои друзья — приводили мне отдельные цитаты из работ авторов классической теории и говорили, что эти авторы не могли иметь в виду логическую вероятность. С этим я согласен. В некоторых своих утверждениях авторы классической теории могли иметь в виду не логическую, а, по-видимому, частотную вероятность. Тем не менее я убежден, что их основным понятием была логическая вероятность. Я. считаю, что намек на это содержится даже в заголовке первой систематической работы в этой области — «Искусство догадок» («Ars conjectandi») Якоба Бернулли. Мизесовская теория вероятностей не есть искусство догадок. Она представляет математически сформулированную аксиоматическую теорию массовых (случайных) явлений и не содержит ничего такого, что нужно было бы угадывать. То, что имел в виду Бернулли, есть совершенно другое. Мы наблюдаем некоторые события, говорит он, такие, как способ падения игральной кости, и пытаемся сделать догадку о том, как она упадет, если мы бросим ее снова. Мы хотим знать, как заключать разумные пари. Для авторов классического периода вероятность была степенью достоверности будущих событий или доверия к ним. Это логическая вероятность, а не вероятность в статистическом смысле [1].

---

[1] Мой общий взгляд на то, что как статистическая, так и логическая вероятность являются законными, хорошими научными понятиями, которые играют различную роль, изложен во II главе книги

Я не вхожу здесь в более подробные детали моей точки зрения, потому что она включает многие специальные вещи. Но я рассмотрю одно умозаключение, в которое могут войти одновременно два понятия вероятности. Такое умозаключение встречается тогда, когда либо гипотеза, либо одна из посылок индуктивного вывода содержит понятие статистической вероятности. Мы можем легко усмотреть это, изменив основную схему, которую мы использовали при обсуждении универсальных законов. Вместо универсального закона (1) мы берем в качестве первой посылки статистический закон (1′), который утверждает, что относительная частота $(rf)\,Q$ относительно P составляет, скажем, 0,8. Вторая посылка (2), как и прежде, устанавливает, что некоторый индивид a имеет свойство P. Третье утверждение (3) говорит, что a имеет свойство Q. Это третье утверждение Qa представляет гипотезу, которую мы хотим рассмотреть на основе двух посылок.

В символической форме

$$(1')\ rf\,(Q,\ P) = 0{,}8.$$

$$(2)\ Pa.$$

$$(3)\ Qa.$$

Что мы можем сказать о логическом отношении (3) к (1′) и (2)? В предыдущем случае — схеме для универсального закона — мы могли сделать следующее логическое утверждение:

(4) Утверждение (3) логически имплицируется (1) и (2).

Мы не можем сделать такого утверждения в вышеприведенной схеме, потому что новая посылка (1′) слабее, чем прежняя посылка (1). Она скорее устанавли-

---

«Логические основания вероятности» («Logical Foundations of Probability»), цитировавшейся в предыдущей сноске, и в моей статье 1945 года «Два понятия вероятности» («The Two Concepts of Probability»), перепечатанной в «Readings in Philosophical Analysis», eds. Herbert Feigl and Wilfrid Sellars, New York: Appleton — Century — Crofts, 1949, p. 330—348, и в «Readings in the Philosophy of Science», eds. Herbert Feigl and May Brodbeck, New York, Appleton — Century — Crofts, 1953, p. 438—455. Более популярно написанную защиту той же самой точки зрения см. в моей статье «Что такое вероятность» («What is Probability?», «Scientific American», 189 (September, 1953).

вает относительную частоту, чем универсальный закон. Мы *можем*, однако, сделать следующее утверждение, которое также устанавливает логическое отношение, но скорее в терминах логической вероятности, или степени подтверждения, чем импликации:

(4′) Утверждение (3) на основе (1′) и (2) имеет вероятность 0,8.

Заметьте, что это утверждение, хотя, подобно (4), не есть логический вывод из (1′) и (2), как (4), так и (4′) являются утверждениями на том языке, который называют метаязыком. Они представляют логические высказывания *относительно* трех утверждений: (1) [или (1′) соответственно], (2) и (3).

Важно ясно понять, что подразумевают под такими утверждениями, как «статистическая вероятность Q относительно P есть 0,8». Когда ученые делают такие утверждения, говоря о вероятности в частотном смысле, то не всегда бывает вполне ясно, что они подразумевают под частотой. Является *ли* это частотой Q в наблюдаемой выборке? Или же это частота Q в рассматриваемой полной популяции? Если число наблюдаемых случаев в выборке очень велико, тогда частота Q в выборке может не отличаться в какой-либо значительной степени от частоты Q в популяции. Тем не менее важно иметь в виду теоретическое отличие, которое существует здесь.

Предположим, что мы желаем узнать, какой процент из сотни тысяч мужчин, живущих в некотором городе, бреется электрической бритвой. Мы решаем опросить одну тысячу этих людей. Чтобы избежать пристрастной выборки, мы должны выбрать тысячу мужчин теми способами, которые разработали специалисты в области современной техники выборки. Предположим, что мы получили репрезентативную выборку и восемьсот людей в этой выборке сообщили, что они бреются электрической бритвой. Наблюдаемая относительная частота этого свойства равна, таким образом, 0,8. Поскольку одна тысяча представляет достаточно большую выборку, то мы можем отсюда заключить, что статистическая вероятность этого свойства в популяции в целом есть 0,8. Строго говоря, это необоснованное заключение. Нам известно только значение частоты в выборке, значение же частоты в популяции неизвестно. Самое лучшее, что мы можем сделать, — это *оценить* частоту в популяции. Такую оценку нельзя смешивать со значением частоты в выборке. Такие оценки, в общем, будут отклоняться в некотором отношении от наблюдаемой относительной частоты в выборке[1].

Предположим, что (1′) известно. Статистическая вероятность относительно *P* есть 0,8 (как мы это узнаем, этот вопрос не нуждается здесь в рассмотрении. Мы можем проверить целую популяцию из сотни тысяч человек, опрашивая каждого мужчину в городе). Суждение об этой вероятности есть, конечно, эмпирическое утверждение. Предположим также, что вторая посылка известна: (2) *Pa*. Мы можем теперь сделать утверждение (4′), которое говорит, что логическая вероятность (3) *Qa* относительно посылок (1′) и (2) есть 0,8. Если, однако, первая посылка представляет не высказывание о статистической вероятности, а утверждение о наблюдаемой относительной частоте в выборке, тогда мы должны принять в расчет размер выборки. Мы можем еще вычислить логическую вероятность, или степень подтверждения, выраженную в утверждении (4), но она не будет точно равняться 0,8. Она будет отклоняться тем способом, который я рассматривал в монографии, упомянутой в предыдущей сноске.

Когда таким способом делается индуктивное умозаключение от образца к популяции, от одного образца к неизвестному будущему образцу или от одного образца к неизвестному будущему случаю, то я говорю об этом как о «косвенном вероятностном умозаключении» в отличие от индуктивного умозаключения, которое делается от популяции к выборке или отдельному случаю. Как я уже отмечал раньше, *если* знание действительной вероятности в популяции дается в (1′), то корректно приписать утверждению (4) то же самое численное значение для степени подтверждения. Такое умозаключение не является дедуктивным. Оно занимает некоторое промежуточное положение между другими видами индук-

---

[1] Этот вопрос не обсуждается в моей книге «Логические основания вероятности» («Logical Foundations of Probability»), но в небольшой монографии «Континуум индуктивных методов» («The Continuum of Inductive Methods», University of Chicago Press, 1952) я разработал вычислительную технику для оценки относительной частоты на основе наблюдаемого образца.

тивных и дедуктивных умозаключении. Некоторые авторы называют их даже «дедуктивными вероятностными умозаключениями», но я предпочитаю говорить о них скорее как об индуктивных, чем дедуктивных умозаключениях. Всякий раз, когда статистическая вероятность для популяции задана и мы пытаемся определить вероятность для выборки, значения, приписываемые ей моей индуктивной логикой, являются теми же самыми, которые дают им статистики. Если, однако, мы делаем косвенное умозаключение от выборки к популяции или от выборки к будущему отдельному случаю или же к будущей конечной выборке [эти два последних случая я называю «умозаключениями предсказания» (predictive inferences)], тогда я уверен, что методы, используемые статистиками, не являются адекватными. В моей монографии «Континуум индуктивных методов» (The Continuum of Inductive Methods») я в деталях рассмотрел причины моего скептицизма.

Основные пункты, которые я желал бы подчеркнуть здесь, следующие: оба типа вероятностей — статистическая и логическая — могут встречаться вместе в той же самой цепи рассуждения. Статистическая вероятность есть часть объектного языка науки. К утверждениям статистической вероятности мы можем применить логическую вероятность, которая представляет часть метаязыка науки. По моему убеждению, эта точка зрения дает значительно более ясную картину статистических умозаключений, чем ту, которую мы обычно находим в книгах по статистике, и это обеспечивает более основательный фундамент для построения адекватной индуктивной логики науки.

Глава 4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД

Одна из наиболее важных отличительных черт современной науки в сравнении с наукой раннего периода состоит в подчеркивании того, что называют «экспериментальным методом». Как мы уже видели, все эмпирическое познание в конечном счете основывается на наблюдениях, но эти наблюдения могут быть получены двумя существенно отличными способами. В неэкспериментальных ситуациях мы играем пассивную роль. Мы просто смотрим на звезды или на некоторые цветы, замечаем сходства и различия и пытаемся обнаружить регулярности, которые могут быть выражены как законы. В экспериментальных исследованиях мы играем активную роль. Вместо того чтобы быть случайными зрителями, мы что-то *делаем* для получения лучших результатов, чем те, которые мы получаем путем простого наблюдения явлений природы. Вместо того чтобы ждать, когда природа обеспечит нам ситуацию для наблюдения, мы пытаемся создать такую ситуацию. Короче, мы делаем эксперименты.

Экспериментальный метод продемонстрировал свою громадную плодотворность. Огромный прогресс, достигнутый в физике в последние два столетия и особенно в последние несколько десятилетий, был бы невозможен без экспериментального метода. В таком случае можно спросить, почему экспериментальный метод не используется во всех областях науки?

В некоторых областях его не так легко использовать, как в физике. В астрономии, например, мы не можем сообщить планете толчок в некотором другом направлении и посмотреть, что с ней случится. Астрономические объекты вне пределов досягаемости. Мы можем только наблюдать и описывать их. Иногда астрономы могут в лаборатории создавать условия, подобные, скажем, условиям на поверхности Солнца или Луны, а затем наблюдать, что случится при этих условиях. Но в действительности это есть не астрономический, а физический эксперимент, который имеет лишь некоторое отношение к астрономическому познанию.

Совершенно другие причины препятствуют ученым в области общественных наук производить эксперименты с большими группами людей. Эти ученые производят эксперименты с группами, но обычно это малые группы людей. Если мы хотим узнать, как реагируют люди, когда они не в состоянии получить воду, мы можем взять двух или трех человек, установить им диету без жидкости и наблюдать их реакцию. Но это не покажет нам, как будут реагировать большие общины, когда будет отключено водоснабжение. Было бы интересным экспериментом — отключить водоснабжение, например, Нью-Йорка. Станут ли люди неистовствовать или сделаются апатичными? Попытаются ли они организовать революцию против городского управления? Конечно, никакой ученый в области общественных наук не будет планировать постановку такого эксперимента, потому что он знает, что общество не позволит ему этого. Люди не разрешат ученым играть их насущными нуждами.

Даже тогда, когда по отношению к общине не проявляется никакой действительной жестокости, часто существует сильное общественное противодействие экспериментам с группами людей. Например, в Мексике имеются племена, которые исполняют ритуальные танцы, когда происходит затмение солнца. Члены этих племен убеждены, что таким путем они могут задобрить бога, который вызывает эти затмения. Наконец свет солнца появляется снова. Предположим, что группа антропологов попытается убедить этих людей, что их ритуальные танцы не имеют никакого отношения к появлению солнца. В этих целях они предложат племени в качестве эксперимента не исполнять танцев во время очередного солнечного затмения и посмотреть, что из этого выйдет. Члены племени возмутятся этим. Для них это будет означать подвергнуть себя риску остаться навсегда в темноте. Они так сильно верят в свою версию, что не захотят подвергаться испытанию. Таким образом, вы видите, что существуют препятствия для экспериментов в общественных науках даже тогда, когда ученые убеждены, что никакой социальной тревоги эти эксперименты не вызовут, если будут осуществлены. В общественных науках ученые ограничиваются в общем тем, что они могут узнать из истории и из экспериментов с индивидами и малыми группами.

Эксперимeтальный метод особенно плодотворен в тех областях, где существуют количественные понятия, которые могут быть точно измерены. Как ученый планирует эксперимент? Трудно описать общую природу эксперимента, поскольку существует так много его разновидностей, что можно указать только немногие их общие черты.

Прежде всего мы пытаемся определить существенные факторы, относящиеся к явлению, которое хотим исследовать. Некоторые факторы — но не слишком многие — должны быть оставлены в стороне как несущественные.

Например, в экспериментах в области механики, где встречаются колеса, рычаги и тому подобные, мы можем не рассматривать трение. Мы знаем, что трение существует, но полагаем, что его влияние слишком мало, чтобы оправдать усложненный эксперимент, который бы учитывал его. Подобным же образом в экспериментах с медленно движущимися телами мы можем игнорировать сопротивление воздуха. Если мы имеем дело с очень высокими скоростями, такими, как сверхзвуковая скорость снаряда, то мы не можем больше игнорировать сопротивление воздуха. Короче, ученый не принимает во внимание только те факторы, влияние которых на его эксперимент, как он полагает, будет незначительным. Иногда, чтобы избежать слишком сложного эксперимента, он даже может игнорировать факторы, которые, как он полагает, могут иметь важный эффект.

После того как будут установлены существенные факторы, мы строим эксперимент, в котором некоторые из этих факторов сохраняем постоянными, в то время как другим позволяем изменяться. Предположим, что мы имеем дело с газом в сосуде и пытаемся сохранить его температуру постоянной, насколько это возможно. Мы погружаем сосуд в водяную баню значительно большего объема. (Удельная теплоемкость газа столь мала по сравнению с удельной теплоемкостью воды, что, даже если температура газа изменяется моментально из-за сжатия или расширения, она быстро возвращается к прежнему значению.) Или мы можем пожелать сохранить постоянным электрический ток. Это можно сделать с помощью амперметра так, что, когда мы заметим увеличение или уменьшение тока, мы можем изменить сопротивление и сохранить ток постоянным. В таких случаях, как приведенные выше, мы в состоянии сохранить некоторые величины постоянными, пока мы наблюдаем, что происходит, когда изменяются другие величины.

Наша конечная цель состоит в том, чтобы найти законы, связывающие *все* относящиеся к нему величины. Но если сюда входит очень много факторов, то это может усложнить задачу. С самого начала, таким образом, мы ограничиваем нашу цель законами более низкого уровня, связывающими *лишь некоторые* факторы. Если имеется k величин, то самый простой первый шаг состоит в том, чтобы поставить эксперимент таким образом, чтобы k-2 величины держать постоянными. Тогда остаются две величины, M_1 и M_2, которые мы можем свободно изменять. Мы изменяем одну из них и наблюдаем, как ведет себя другая. Возможно, что M_2 уменьшается всякий раз, когда M_1 увеличивается. Или, может быть, когда M_1 увеличивается, M_2 сначала возрастает, а затем убывает. Значение M_2 представляет функцию от значения M_1. Мы можем начертить эту функцию в виде кривой на миллиметровке и, возможно, определить уравнение, которое выражает эту функцию. Мы будем иметь тогда ограниченный закон: если величины M_3, M_4 M_5, ... держать постоянными, а M_1 увеличивается, тогда M_2 изменяется по способу, выраженному некоторым уравнением. Но это только начало. Мы продолжаем наш эксперимент, контролируя другие множества из k-2 факторов так, чтобы мы могли видеть, как функционально связаны другие пары величин. Позже тем же самым способом мы экспериментируем с тройками величин, держа постоянными все величины, кроме трех. В некоторых случаях мы будем в состоянии узнать из наших законов, относящихся к парам величин, некоторые или все законы, относящиеся к тройкам (величин). Затем мы задаемся целью получить еще более общий закон, включающий четыре величины, и, наконец, наиболее общий, иногда весьма сложный закон, охватывающий все относящиеся к исследованию факторы.

В качестве простого примера рассмотрим следующий эксперимент с газом. Мы делаем грубое наблюдение, что температура, объем и давление газа часто изменяются одновременно. Мы хотим знать точно, как эти три величины соотносятся друг с другом. Четвертым существенным фактором будет состав газа, который мы используем. Мы можем произвести эксперимент с другим газом позднее и сначала решаем держать этот фактор постоянным, используя только чистый водород. Мы помещаем водород в цилиндрический сосуд (см. рис. 4-1) с движущимся поршнем, на который можно положить груз. Мы можем легко измерить объем газа и, изменяя груз на поршне, можем изменять давление. Температура регулируется и измеряется другим способом.

Прежде чем приступить к эксперименту, имеющему целью определить, как связаны три фактора — температура, объем и давление, — нам необходимо осуществить некоторые предварительные эксперименты, чтобы быть уверенными, что не существует никаких других существенных факторов. Мы можем подозревать, что некоторые факторы будут существенными, а некоторые — нет. Например, является ли существенной форма сосуда, содержащего газ? Мы знаем, что в некоторых экспериментах (например, при распределении электрического заряда и его поверхностного потенциала) форма предмета имеет важное значение. Здесь же нетрудно определить, что форма сосуда несущественна, важен только его объем.

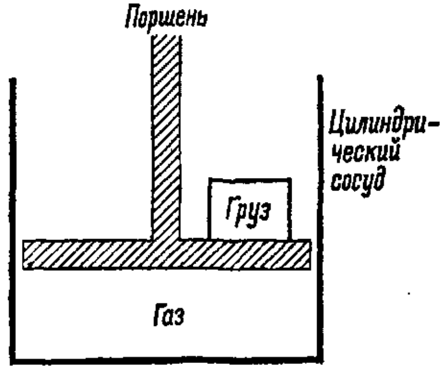


Рис. 4-1.

Мы можем использовать наше знание природы, чтобы исключить многие другие факторы. Астролог может войти в лабораторию и спросить: «Вы проверили, как сегодня расположены планеты? Их положение может иметь некоторое влияние на ваш эксперимент». Мы рассматриваем это как несущественный фактор, ибо полагаем, что планеты находятся слишком далеко, чтобы оказать такое влияние.

Наше предположение о несущественности влияния планеты является верным, но было бы ошибкой думать, что мы можем автоматически исключить различные факторы просто потому, что, как мы полагаем, они не оказывают никакого влияния на процесс. Не существует никакого способа убедиться в этом, пока не будут проведены экспериментальные испытания. Вообразите, что вы живете до изобретения радио. Кто-то ставит на ваш стол ящик и говорит вам о том, что если кто-либо поет в некотором месте на расстоянии тысячи миль отсюда, то вы услышите, как прибор в этом ящике исполняет точно ту же самую песню, в том же самом тоне и ритме. Поверите ли вы этому? Вероятно, вы ответите: «Невозможно». Не существует никаких электрических проводов, связанных с этим ящиком. Из моего опыта я знаю, что ничто происходящее за тысячу миль отсюда не может иметь какого-либо влияния на происходящее в этой комнате».

Это точно то же самое рассуждение, посредством которого мы пришли к выводу, что положение планет не может влиять на наш эксперимент с водородом! Очевидно, мы должны быть очень осторожными. Иногда существуют воздействия, о которых мы не можем знать, пока они не обнаружены. По этой причине самый первый шаг в нашем эксперименте, определяющий существенные факторы, иногда является трудным. Кроме того, этот шаг часто явно не указывается в отчетах об исследованиях. Ученый описывает только приборы, которые он использует, эксперимент, который осуществляет, и то, что он открывает в отношениях между некоторыми величинами. Он не добавляет к этому: «И кроме того, я обнаружил, что такие-то факторы не оказывают влияния на результат». В большинстве случаев, когда область, в которой происходят исследования, достаточно известна, ученый будет считать само собой разумеющимся, что другие факторы являются несущественными. Он может быть совершенно прав, но в новых областях следует быть крайне осторожным. Конечно, никто не будет считать, что на лабораторный эксперимент может повлиять то обстоятельство, смотрим ли мы на приборы с расстояния в десять дюймов или десять футов или же находимся ли мы в добром или дурном расположении духа. Эти факторы, вероятно, несущественны, но абсолютно быть уверенными в этом мы не можем. Если кто-то подозревает, что эти факторы существенны, то должен быть проведен эксперимент, исключающий их.

Практические соображения будут удерживать нас, конечно, от испытания каждого фактора, который может быть существенным. Могут быть испытаны тысячи маловероятных возможностей, но просто не будет времени, чтобы исследовать их все. Мы должны руководствоваться здравым смыслом и уточнять свои предположения, только если случится нечто неожиданное, заставляющее нас рассматривать в качестве существенного фактор, который мы прежде игнорировали. Будет ли цвет листьев на деревьях вне лаборатории влиять на длину волны света, который мы используем в эксперименте? Будут ли части прибора функционировать иначе в зависимости от того, находится ли их законный владелец в Нью-Йорке или Чикаго, или же в зависимости от его отношения к эксперименту? Очевидно, что мы не имеем времени, чтобы испытать такие факторы. Мы предполагаем, что духовное состояние владельца оборудования не имеет никакого физического влияния на эксперимент, но члены некоторых племен могут думать иначе. Они могут верить в то, что боги будут помогать эксперименту, если владелец прибора хочет, чтобы эксперимент был осуществлен, и не будут, если собственник этого не хочет. Существующие верования могут, таким образом, влиять на то, чтó считать существенным. В большинстве случаев ученый, размышляя о проблеме, делает обычные догадки о том, какие факторы заслуживают рассмотрения, и, возможно, даже осуществит несколько предварительных экспериментов, чтобы исключить факторы, в которых он сомневается.

Предположим, что мы решили, что существенными факторами в нашем эксперименте с водородом являются температура, давление и объем. В нашем сосуде состав и общее количество газа остаются теми же самыми, потому что мы держим сосуд закрытым. Мы свободны, таким образом, в проверке отношения между тремя факторами. Если мы поддерживаем постоянную температуру, но увеличиваем давление, тогда мы обнаруживаем, что объем изменяется обратно пропорционально давлению, то есть если мы удвоим давление, то объем уменьшится на половину прежней величины. Если мы утроим давление, то объем уменьшится на одну треть. Этот известный эксперимент был осуществлен в семнадцатом столетии ирландским физиком Робертом Бойлем. Закон, который он открыл, известный как закон Бойля, утверждает, что если температура газа в замкнутом сосуде остается постоянной, то произведение объема на давление есть константа.

Затем мы сохраняем постоянным давление (помещая тот же самый груз на поршень), но изменяем температуру. Тогда мы обнаруживаем, что объем увеличивается, когда газ нагревается, и уменьшается, когда газ охлаждается. Путем измерения объема и температуры мы найдем, что объем пропорционален температуре. (Эту зависимость иногда называют законом Шарля в честь французского ученого Жака Шарля.) Мы должны позаботиться о том, чтобы не использовать при измерении ни шкалу Фаренгейта, ни Цельсия, а взять шкалу, в которой нуль является «абсолютным нулем» или равен —273° шкалы Цельсия. Это — «абсолютная шкала», или «шкала Кельвина», введенная лордом Кельвином, английским физиком девятнадцатого века. Теперь легко приступить к экспериментальной верификации общего закона, охватывающего все три фактора. Такой закон фактически предполагается двумя законами, которые мы уже получили, но общий закон имеет большее эмпирическое содержание, чем два закона, взятые вместе. Этот общий закон утверждает, что если количество газа в замкнутом сосуде остается постоянным, то произведение давления на объем равно произведению температуры на R ($P \cdot V = T \cdot R$). В этом уравнении R представляет константу, которая меняется в зависимости от количества взятого газа. Таким образом, этот общий закон выражает отношение между всеми тремя величинами и является более эффективным для предсказаний, чем два других объединенных закона. Если мы знаем значения любых двух из трех переменных величин, тогда мы можем легко предсказать третью.

Этот пример простого эксперимента показывает, как можно сохранить некоторые факторы постоянными, чтобы исследовать зависимости, существующие между другими факторами. Он также показывает — и это очень важно — плодотворность количественных понятий. Законы, определяемые с помощью этого эксперимента, предполагают умение измерять различные величины. Если бы это было не так, тогда пришлось бы сформулировать законы качественным образом. Такие законы будут значительно слабее и менее полезны для предсказаний. Без численных значений для давления, объема и температуры самое большее, что можно сказать об одной из величин, — это то, что она остается той же самой, или увеличивается, или уменьшается. Так, мы могли бы сформулировать закон Бойля следующим образом: если температура газа в замкнутом сосуде остается той же самой, а давление увеличивается, тогда объем будет уменьшаться. Когда давление уменьшается, объем увеличивается. Это, конечно, закон. Некоторым образом он даже похож на закон Бойля, но он, однако, значительно слабее его, потому что не дает нам возможности предсказать значение величины. Мы можем предсказать только то, что величина будет возрастать, уменьшаться или останется постоянной.

Недостатки качественного варианта законов для газов станут даже более очевидными, если мы рассмотрим общий закон, выраженный посредством уравнения $P \cdot V = T \cdot R$. Перепишем его в следующей форме:

$$V = \frac{T}{P} \cdot R.$$

Из этого общего уравнения, истолкованного качественно, мы можем вывести слабые варианты закона Бойля и закона Шарля. Предположим, что все три величины — давление, объем, температура — изменяются одновременно и только количество газа (R) остается постоянным. С помощью эксперимента мы обнаруживаем, что как температура, так и давление увеличиваются. Что мы можем сказать тогда об объеме? В этом случае мы не можем даже сказать, увеличивается ли он, или уменьшается, или остается постоянным. Чтобы определить его, мы должны знать отношение, в котором увеличиваются температура и давление. Если температура увеличивается в гораздо большей степени, чем давление, тогда из формулы следует, что объем будет увеличиваться. Но если мы не можем определить численные значения для давления и температуры, то в этом случае мы не можем сделать какого-либо предсказания вообще об этом объеме.

Мы видим, следовательно, как мало можно было бы сделать предсказаний и какими грубыми были бы объяснения, если бы наука ограничивалась качественными законами. Количественные законы в огромной степени превосходят их. Для таких законов мы должны, разумеется, иметь количественные понятия. Эту тему мы подробнее изучим в главе 5.

Часть II

ИЗМЕРЕНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК

Глава 5

ТРИ ВИДА ПОНЯТИЙ В НАУКЕ

Понятия науки, так же как и повседневной жизни, условно могут быть разделены на три основные группы: классификационные, сравнительные и количественные.

Под «классификационным понятием» я имею в виду то понятие, которое соотносит предмет с определенным классом. Все понятия таксономии в ботанике и зоологии — различные виды, семейства, роды и т. п. — являются классификационными понятиями. Они значительно различаются по количеству информации, которую дают нам о предмете. Например, если я скажу, что предмет синий, или теплый, или кубический, то я делаю относительно слабое утверждение о предмете. Помещая предмет в более узкий класс, мы увеличиваем информацию о нем, хотя эта информация остается довольно умеренной. Утверждение, что объект есть живой организм, говорит о нем значительно больше, чем утверждение, что он теплый. Утверждение «это — животное» говорит немного больше, а «это — позвоночное» — еще больше. Продолжая суживать классы — млекопитающее, собака, пудель и т. п., — мы увеличиваем количество информации, хотя все еще относительно мало. Классификационные понятия наиболее знакомы нам. Самые первые слова, которые узнает ребенок, — «собака», «кошка», «три» — представляют понятия такого рода.

Более эффективными для выражения информации являются «сравнительные понятия». Они занимают промежуточное положение между классификационными и количественными понятиями. Я считаю желательным обратить на них внимание, потому что даже среди ученых значение и эффективность таких понятий часто недооцениваются. Ученый часто говорит: «Было бы желательно, конечно, ввести количественные понятия — понятия, которые могут быть измерены по соответствующей шкале в моей области. К несчастью, это еще не может быть сделано, поскольку область исследования находится в младенческом состоянии. Мы еще не разработали технику измерения и поэтому должны ограничиться неколичественным, качественным языком. Возможно, что в будущем, когда область исследований более разовьется, мы будем в состоянии разработать количественный язык». Ученый может быть совершенно прав, делая такое утверждение, но он допустит ошибку, если заключит отсюда, что, поскольку он должен говорить в качественных терминах, он обязан ограничить свой язык классификационными понятиями. Часто случается, что, прежде чем в область науки могут быть введены количественные понятия, им предшествуют сравнительные понятия, которые являются значительно более эффективным инструментом для описания, предсказания и объяснения, чем более грубые классификационные понятия.

Классификационные понятия, такие, как «тепло» и «холод», просто определяют место предмета в классе. Сравнительные понятия, такие, как «теплее» или «холоднее», указывают, как относится один предмет к другому в терминах «больше» или «меньше». Задолго до того, как наука разработала понятие температуры, которая может быть измерена, можно было сказать: «Этот предмет теплее, чем другой». Сравнительные понятия такого рода могут быть полезными в значительной степени. Предположим, что для работы, требующей некоторых способностей, нужен тридцатипятилетний человек и компания имеет психолога, задача которого — наилучшим образом охарактеризовать претендентов. Классификационные суждения, конечно, лучше, чем никакие суждения вообще. Психолог может решить, что пять претендентов имеют хорошее воображение, десять из них обладают скорее слабым воображением, а остальные ни слабым, ни сильным. Подобным же образом он может дать грубую классификацию тридцатипятилетних мужчин по их способности к ручному труду, по математическим способностям, их эмоциональной устойчивости и т. п. В известном смысле эти понятия, конечно, могут быть использованы как слабые сравнительные понятия. Мы можем сказать, что у лица с «хорошим воображением» эта способность выше, чем у лица с «бедным воображением». Но если психолог может разработать сравнительный метод, с помощью которого он расположит всех тридцатипятилетних мужчин в один упорядоченный ряд по соответствующей способности, тогда мы будем знать о них значительно больше, чем мы знали тогда, когда они были разделены только на три класса: сильных, слабых и средних.

Мы никогда не должны недооценивать полезности сравнительных понятий, особено в тех областях, где научный метод и количественные понятия до сих пор еще не разработаны. Психология все больше и больше использует количественные понятия, но все же имеются еще такие обширные ее области, в которых могут быть применены только сравнительные понятия. В антропологии почти не имеется количественных понятий. Она в основном оперирует классификационными понятиями и поэтому гораздо больше нуждается в эмпирическом критерии, чтобы развить сравнительные понятия. В таких областях важно разработать такие понятия, которые являются значительно более сильными, чем классификационные, даже если еще невозможно производить в них количественных измерений.

Мне бы хотелось обратить ваше внимание на монографию Карла Гемпеля и Пауля Оппенгейма «Понятие типа в свете новой логики» («Der Typusbegriff im Lichte der neuen Logik»). Она появилась в 1936 году, и в переводе на английский язык заголовок ее гласит: «Понятие типа с точки зрения современной логики» («The concept of type from the point of view of modern logic»). Авторы специально касаются в ней психологии и родственных областей, в которых, как они подчеркивают, понятия типа являются слишком бедными. Когда психологи тратят свое время, классифицируя индивидов, скажем, на интровертных[1], экстровертных[2] и промежуточных между

---

[1] Психологическая характеристика индивидов, сосредоточенных на своем внутреннем мире. — *Прим. перев.*

[2] Характеризует индивидов, сосредоточенных на внешнем мире. — *Прим. перев.*

ними или других типов, то они поступают не наилучшим образом. Иногда мы обнаруживаем стремление к введению эмпирического критерия, который может привести к численным значениям, таким, как в группе типологии Уильяма Шелдона[1]. Но в то время, когда Гемпель и Оппенгейм писали свою монографию, имелось очень мало вещей такого рода. Почти каждый психолог, рассматривавший характер, конституцию и темперамент, имел свою собственную систему типов. Гемпель и Оппенгейм указывали, что все эти различные типологии представляли собой несколько больше, чем классификационные понятия. Они подчеркивали тот факт, что, хотя и преждевременно было вводить измерения и количественные понятия, было бы значительным шагом вперед, если бы психологи могли создать действенные сравнительные понятия.

Часто случается, что сравнительные понятия позднее становятся основой для количественных понятий. Классическим примером служит понятие «теплее», которое можно развить в «температуру». Однако, прежде чем заняться деталями того, как устанавливается эмпирический критерий для количественных понятий, будет полезным рассмотреть, как устанавливается этот критерий для сравнительных понятий.

В качестве иллюстрации рассмотрим понятие веса до того, как стало возможным дать ему численные значения. Вначале мы имеем только сравнительные понятия: *тяжелее*, *легче* и *равные по весу*. Какова та эмпирическая процедура, посредством которой мы можем взять любую пару предметов и определить, как они сравниваются в терминах этих трех понятий? Для этого мы нуждаемся только в весах и следующих двух правилах.

1. Если два предмета уравновешивают друг друга на весах, то они имеют равный вес.

2. Если предметы не уравновешивают друг друга, тогда предмет, находящийся на чашке весов, которая опускается вниз, будет *тяжелее* предмета, лежащего на чашке, которая поднимается вверх.

Строго говоря, пока мы еще не можем сказать, что один предмет имеет «больший вес», чем другой, потому

---

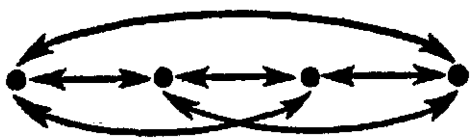
[1] См.: W. Sheldon, The variety of temperament, 1942. — *Прим. перев.*

что мы не ввели еще количественного понятия веса. Но на практике такой язык может быть использован, даже если и неизвестен какой-либо метод для того, чтобы приписать численные значения понятию. Несколько раньше мы говорили, например, об одном человеке, что он обладает «бóльшим воображением», чем другой, хотя и не могли приписать никакого численного значения воображению.

В примере с весами, так же как и во всех эмпирических процедурах, для установления сравнительных понятий важно различать те аспекты процедуры, которые являются чисто конвенциональными, и те, которые таковыми не являются, потому что они зависят от фактов природы или логических законов. Чтобы увидеть это различие, установим более формально два правила, с помощью которых мы определяем понятия «равной тяжести», «тяжелее, чем», «легче, чем». Для равенства мы нуждаемся в правиле для определения наблюдаемого отношения, соответствующего равенству, которое я буду называть E. Для других двух понятий мы нуждаемся в правиле для определения отношения, которое я буду называть «менее, чем» и символически обозначать через L.

Отношения E и L определяются посредством эмпирической процедуры. Мы помещаем два тела на чашки весов. Если мы замечаем, что весы остаются в равновесии, тогда мы говорим, что между двумя телами имеет место отношение E, касающееся свойства весомости. Если мы заметим, что одна чашка весов поднимается вверх, а другая опускается вниз, тогда мы скажем, что между двумя телами относительно свойства весомости имеет место отношение L.

Может показаться, что для определения E и L мы используем чисто конвенциональную процедуру. Но это не так. Если бы не было некоторых условий, которым удовлетворяют отношения, которые мы выбрали, они адекватно не могли бы служить в качестве E и L. Таким образом, эти отношения не являются произвольно выбранными. Они применяются ко всем телам, которые имеют вес. Это множество предметов есть «область» наших сравнительных понятий. Если отношения E и L имеют силу для этой области, тогда становится возможным расположить все предметы данной области в виде стратифицированной структуры, которую иногда называют «квазисериальным расположением». Лучше всего это может быть объяснено с помощью некоторых терминов из логики отношений. Отношение E, например, должно быть «симметричным» (если это отношение имеет место между двумя любыми телами a и b, тогда оно также должно иметь место между b и a). Отношение E должно быть также «транзитивным» (если отношение имеет место между a и b и между b и c, тогда оно должно иметь место также между a и c). Мы можем изобразить это, использовав точки для представления тел и двойные стрелки для указания отношения равенства.

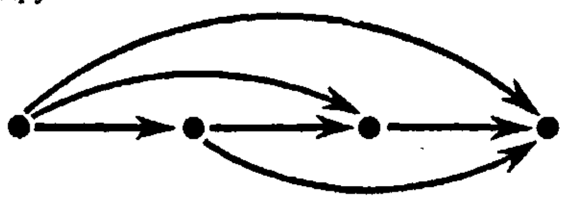


Ясно, что, если бы мы выбрали для E отношение, которое не является симметричным, тогда оно не было бы подходящим для наших целей. Мы могли бы тогда сказать, что один предмет имеет тот же самый вес, что и другой, но нельзя было бы утверждать, что второй предмет имеет тот же вес, что и первый. Это, конечно, не тот способ, при помощи которого мы хотим использовать термин «тот же самый вес». Равновесие чашек весов есть симметричное отношение. Если два предмета находятся в равновесии, то они будут уравновешивать друг друга и после того, как поменяют свои места на чашках весов. E должно быть, таким образом, симметричным отношением. Подобно этому, мы найдем, что если a находится в равновесии с b, а b — в равновесии с c, тогда a будет в равновесии с c. Отношение E является, следовательно, транзитивным. Если E транзитивно и симметрично, то оно должно быть также «рефлексивно», то есть любой предмет равен по весу себе. В логике отношений отношение, являющееся симметричным и транзитивным, называется отношением «эквивалентности». Очевидно, что наш выбор отношения E не произволен. Мы выбираем в качестве E равновесие чашек весов потому, что это отношение оказывается отношением эквивалентности.

Отношение L не симметрично; оно асимметрично.

Если *a* легче, чем *b*, то *b* не может быть легче, чем *a*. *L* транзитивно: если *a* легче, чем *b*, а *b* легче, чем *c*, тогда *a* легче, чем *c*. Эта транзитивность *L*, подобно свойствам отношения *E*, так нам знакома, что мы забываем о необходимости эмпирической проверки для того, чтобы быть уверенными в том, что она применима к понятию веса. Мы кладем *a* и *b* на две чашки весов, и *a* опускается вниз. Затем мы помещаем на весы *b* и *c* и замечаем, что *b* опускается вниз. Если мы теперь положим на весы *a* и *c*, то мы надеемся, что *a* опустится вниз. В другом мире, где наши законы природы не имеют силы, *a* может подняться вверх. Если это случится, тогда отношение, которое мы проверяем, не может быть названо транзитивным и, таким образом, не может служить в качестве *L*.

Мы можем изобразить отношение *L*, транзитивное и асимметричное, с помощью отдельных стрелок от одной точки к другой.



Если отношения *E* и *L* имеют место для всех предметов данной области, то это допускает возможность расположения всех этих предметов в квазисериальном порядке, изображенном на рис. 5-1. (см. стр. 104).

На самом нижнем уровне, в слое *A*, мы имеем все те предметы, которые равны по весу, но легче, чем все предметы, находящиеся не в этом слое. Там может быть только один такой предмет, либо много тысяч. На рис. 5-1 показано четыре предмета. В слое *B* мы имеем другое множество равных по тяжести предметов, связанных друг с другом отношением *E*. Все эти предметы тяжелее, чем предметы слоя *A*, и легче, чем все предметы, не принадлежащие ни к *A*, ни к *B*. Эти слои продолжают подниматься вверх, пока мы, наконец, не достигнем слоя, состоящего из самых тяжелых предметов. Если бы эмпирические испытания не показывали, что предметы данной области могут быть представлены в этом *квазисериальном расположении, тогда отношения E* и *L* не были бы подходящими отношениями для определения соответственно сравнительных понятий равного веса и меньшего веса.

Все это вы можете найти с подробностями в десятом и одиннадцатом разделах монографии Гемпеля «Основы образования понятий в эмпирической науке» («Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science») [1]. Он там говорит, что существуют четыре условия, которым должны удовлетворять E и L:

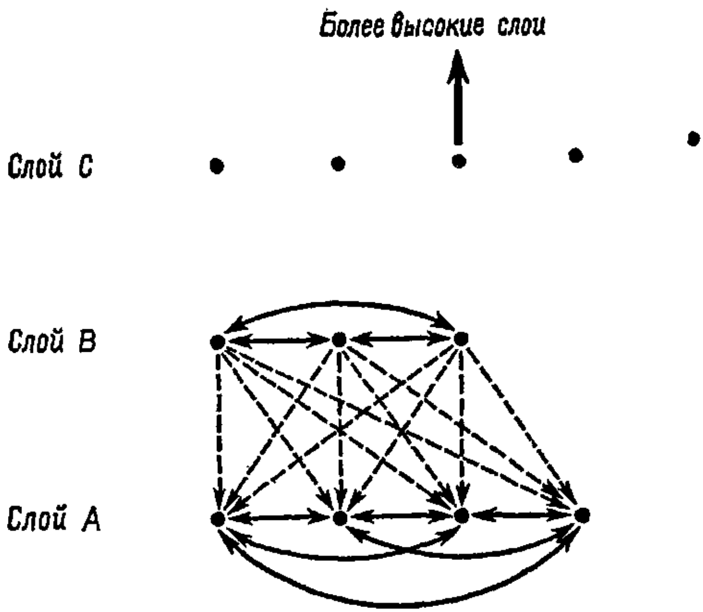


Рис. 5-1.

1. E должно быть отношением эквивалентности.
2. E и L должны исключать друг друга. Ни одна пара предметов не может быть равной по тяжести и в то же самое время соотноситься так, чтобы один предмет был легче другого.
3. L должно быть транзитивным.
4. Для любых двух предметов a и b должен иметь место один из трех следующих случаев. (Фактически достаточно сказать, что имеет место по

---

[1] «International Encyclopedia of Unified Science», Chicago, University of Chicago Press, 1952, Vol. 2, № 7.

крайней мере *один случай*. То, что имеет место точно один случай, следует из других условий.)

a) E имеет место между двумя предметами;

b) L имеет место между a и b;

c) L имеет место между b и a.

Другими словами, любые два предмета, которые обладают весом, являются либо равными по весу, либо a легче, чем b, либо b легче, чем a.

Если любые два отношения E и L удовлетворяют всем этим четырем требованиям, тогда мы можем сказать, что они представляют квазисериальный порядок, который можно изобразить стратифицированным способом, показанным на рис. 5-1. С помощью отношения эквивалентности E мы можем разделить все предметы на эквивалентные классы. Затем с помощью отношения L мы можем расположить эти классы в последовательном порядке и таким способом построить целую схему упорядоченных слоев (strata). Пункт, который мне бы хотелось здесь подчеркнуть, состоит в том, что сравнительные понятия совершенно независимо от того, применяются ли они к фактам природы или нет, связаны логической структурой отношений.

Не так обстоит дело с классификационными понятиями. Чтобы определить понятие класса, мы можем использовать любое условие, которое пожелаем. Конечно, если мы включим логически противоречивые условия, говоря о предмете, что он имеет вес в три фунта и в то же самое время меньше, чем в один фунт, тогда мы определяем класс, который не будет иметь ни одного члена в любом из возможных миров. За исключением этого, мы свободны определять класс любым непротиворечивым способом, каким мы пожелаем, независимо от того, имеются ли члены этого класса в нашем мире или нет. Классическим примером является понятие единорога. Мы определяем единорога как животное, имеющее форму лошади, но с прямым рогом на лбу. Это совершенно правильное определение в том смысле, что оно придает значение термину «единорог». Оно определяет класс. Этот класс бесполезен для зоолога, потому что он пуст в эмпирическом смысле — он не имеет ни одного члена, — но этот вопрос решается не логиком.

Относительно сравнительных понятий ситуация совершенно отличная. В отличие от понятий класса они заключают в себе сложную структуру логических отношений. Если мы вводим сравнительные понятия, то не можем свободно отвергать или модифицировать их структуру. Четыре требования, установленные для них Гемпелем, должны быть выполнены. Таким образом, мы видим, что сравнительные понятия науки в двух отношениях не являются целиком условными: они должны применяться к фактам природы и обязаны соответствовать логической структуре отношений.

Теперь мы переходим к «количественным понятиям». Каждое количественное понятие имеет соответствующую пару сравнительных понятий, которые в развитых областях науки обычно служат в качестве первого шага к количественному понятию. В примерах, которые мы приводили, сравнительные понятия меньшего веса и равного веса легко приводили к понятию веса, который может быть измерен и выражен числом. Мы будем обсуждать природу количественных понятий; почему они являются столь полезными, в каких областях они могут быть применены и существуют ли области, в которых они не могут быть использованы. Этот последний пункт является крайне важным в методологии науки, и по этой причине мы обсудим его подробнее. Однако, прежде чем приступить к этому вопросу, я сделаю несколько общих предварительных замечаний, которые станут яснее в ходе нашей дискуссии, но они должны быть упомянуты теперь.

Прежде всего мы должны подчеркнуть, что различие между качественным и количественным является не различием в природе, а различием в нашей концептуальной системе, мы можем сказать, в языке, если под языком подразумевать систему понятий. Я употребляю здесь термин «язык» в том смысле, в каком употребляют его логики, а не в смысле *английского или китайского языков*. Мы имеем язык физики, язык антропологии, язык теории множеств и т. п. В этом смысле язык устанавливается с помощью правил составления словаря, правил построения предложений, правил логического вывода из этих предложений и других правил. Виды понятий, которые встречаются в научном языке, крайне важны. Вот почему я хочу сделать ясным, что различие между качественным и количественным есть различие между языками.

Качественный язык ограничивается предикатами (например, «трава — зеленая»), в то время как количественный язык вводит то, что называют символами функторов, то есть символы для функций, которые имеют численное значение. Это важно подчеркнуть потому, что широко распространен взгляд, особенно среди философов, что в природе существуют особенности двух родов — качественная и количественная. Некоторые философы утверждают, что современная наука, поскольку она все больше и больше обращает свое внимание на количественные черты, игнорирует качественный аспект природы и, таким образом, дает целиком искаженную картину мира. Этот взгляд является совершенно ошибочным, и мы можем увидеть его ошибочность, если введем отличие в соответствующем месте. Когда мы наблюдаем природу, мы не можем спросить: «Относятся ли явления, которые я вижу здесь, к качественным или количественным явлениям?» Это неправильно поставленный вопрос. Если кто-то описывает эти явления в некоторых терминах, определяя эти термины и давая правила для их употребления, тогда мы можем спросить: «Относятся ли эти термины к количественному языку или же они служат терминами доколичественного, качественного языка?»

Другой важный пункт состоит в том, что соглашения играют очень важную роль при введении количественных понятий. Мы не должны недооценивать эту роль. С другой стороны, мы должны также позаботиться о том, чтобы не переоценивать эту конвенциональную сторону. Это делается не часто, но некоторые философы поступают так. В качестве примера может служить Гуго Динглер в Германии. Он пришел к полностью конвенционалистской точке зрения, которую я считаю ошибочной. Он говорит, что все понятия и даже законы науки являются делом конвенций. По моему мнению, он идет слишком далеко. Пуанкаре также обвиняли в конвенционализме в этом радикальном смысле, но, я думаю, это происходит из-за непонимания его сочинений. Он действительно часто подчеркивал важную роль, которую играют конвенции в науке, но также хорошо осознавал роль эмпирических компонентов. Он знал, что мы не всегда свободны сделать произвольный выбор при построении системы науки; мы должны приспособить нашу систему к фактам природы, когда обнаруживаем их. Природа обеспечивает факторы в ситуации, которые находятся вне нашего контроля. Пуанкаре может быть назван конвенционалистом только в том случае, если под этим имеется в виду исключительно то, что он был философом, который больше, чем предыдущие, подчеркивал огромную роль конвенций. Но он не был радикальным конвенционалистом.

Прежде чем заняться ролью измерения при разработке количественных понятий, мы должны упомянуть, что существует более простой и значительно ранее применявшийся количественный метод — метод счета. Если бы сначала мы не обладали способностью считать, тогда мы не в состоянии были бы и измерять. Счет не требует ничего, кроме наличия неотрицательных чисел. Я говорю «неотрицательных чисел», а не просто «положительных», потому что нуль также есть результат счета, если мы рассматриваем счет в достаточно широком смысле. Если дан конечный класс — скажем, класс всех стульев в этой комнате, — то счет представляет метод, посредством которого мы определяем кардинальное число этого класса. Мы считаем стулья — один, два, три и т. д., — пока мы не закончим на счете двадцать. Предположим, мы хотим сосчитать число роялей в комнате. Мы оглядываемся вокруг и не видим ни одного рояля, поэтому мы говорим, что кардинальное число их есть нуль. Это может рассматриваться как вырожденный случай счета. Во всяком случае, нуль есть число, и оно может быть приписано классу в качестве его кардинального числа. В таких случаях мы обычно называем его нуль-классом.

Та же самая процедура счета дает нам кардинальное число конечного класса последовательных событий. Мы считаем число ударов грома, которые слышим во время грозы, или число ударов часов. Вероятно, этот тип счета возник в истории раньше, чем счет классов одновременно существующих вещей, таких, как стулья в комнате. Действительно, именно таким способом ребенок сперва учится считать. Он ходит по комнате, притрагиваясь к каждому отдельному стулу, и произносит при этом числительное. То, что он действительно считает, представляет ряд прикосновений. Если вы попросите ребенка сосчитать группу деревьев вдали, то это может оказаться для него трудным, потому что он едва ли может указать на деревья, одно за другим, пальцем и осуществить такого рода процедуру соотнесения. Но если он аккуратем в счете предметов путем их соотнесения с числами, то, удостоверившись, что он указывает на каждое дерево один и только один раз, мы можем сказать, что существует изоморфизм между числом деревьев и числом такого рода указаний. Если число таких указаний равно восьми, то мы приписываем то же кардинальное число классу деревьев, находящихся вдали.

Ребенок старшего возраста или взрослый может сосчитать деревья, не указывая на них. Но если это не маленькое число, подобно трем или четырем, которое может быть схвачено одним взглядом, тогда он концентрирует свое внимание на первом дереве, затем на втором и т. д. Процедура все еще остается процедурой счета последовательных событий. То, что кардинальное число, получаемое таким путем, действительно служит кардинальным числом класса, может быть показано путем формального доказательства, но мы не будем входить здесь в эти детали. Существенно то, что при счете класса предметов мы фактически считаем нечто другое — последовательность событий. Затем на основе изоморфизма (одно-однозначного соответствия между событиями и предметами) мы делаем заключение, что кардинальное число событий является также кардинальным числом класса.

Логик всегда обнаруживает столько сложностей в таких простых вещах! Даже счет, самый простой из всех количественных методов, при более глубоком анализе оказывается не таким простым, как кажется на первый взгляд. Но раз мы можем считать, мы можем дальше заняться правилами измерения, как они объясняются в главе 6.

Глава 6

ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОНЯТИЙ

Если факты природы должны быть описаны в количественных понятиях, понятиях с численными значениями, мы должны иметь процедуры для получения этих значений. Самой простой такой процедурой, как мы видели в предыдущей главе, является счет. В этой главе мы исследуем более тонкую процедуру измерения. Счет дает только такие значения, которые выражаются целыми числами. Измерение идет дальше этого. Оно дает не только такие значения, которые могут быть выражены рациональными числами (целые числа и дроби), но также значения, которые могут быть выражены иррациональными числами. Это делает возможным применение мощных математических средств, таких, как анализ. В результате этого в огромной степени увеличивается эффективность научного метода.

Первое важное обстоятельство, которое мы должны ясно понять, состоит в том, что для определения значения таких терминов, как «длина» и «температура», мы должны иметь правила для процесса измерения. Эти правила представляют не что иное, как правила, которые показывают нам, как приписывается некоторое число определенному телу или процессу, так чтобы мы могли сказать, что это число представляет значение величины для рассматриваемого тела. В качестве примера того, как это может быть сделано, возьмем понятие температуры вместе со схемой из пяти правил. Правила будут представлять процедуру, посредством которой может быть измерена температура.

Первые два правила этой схемы мы обсуждали в предыдущей главе как правила для определения сравнительных понятий. Однако теперь мы должны рассматривать их как правила для определения количественного понятия, которое мы будем называть величиной *M*.

Правило 1, для величины *M*, характеризует эмпирическое отношение *E*. Правило устанавливает, что, если отношение E_M имеет место между двумя предметами *a* и *b*, эти два предмета будут иметь равные значения величины *M*. В символической форме:

$$\text{Если } E_M(a,\ b), \quad \text{то} \quad M(a) = M(b).$$

Правило 2 характеризует эмпирическое отношение L_M. Это правило говорит, что, если отношение L_M имеет место между *a* и *b*, значение величины *M* будет меньше для *a*, чем для *b*. В символической форме:

$$\text{Если } L_M(a,\ b), \text{ то } M(a) < M(b).$$

Прежде чем перейти к другим трем правилам нашей схемы, мы посмотрим, как два предыдущих правила применялись к донаучному, сравнительному понятию температуры, которое впоследствии было заменено с помощью количественной процедуры. Вообразим себе, что мы живем в эпоху до изобретения термометра. Как мы решаем, что два предмета являются одинаково теплыми или же один из них теплее, чем другой? Мы прикасаемся к каждому предмету рукой. Если мы чувствуем, что ни один из них не теплее, чем другой (отношение E), тогда мы скажем, что они одинаково теплые. Если a ощущается как менее теплый, чем b (отношение L), тогда мы скажем, что a является менее теплым, чем b. Но все это субъективные методы, методы очень неточные, относительно которых трудно достичь согласия между различными наблюдателями. Одно лицо может ощущать, что a теплее, чем b; другой может прикоснуться к тем же самым двум предметам и считать, что истинно обратное. Воспоминания о тепловых ощущениях настолько смутны, что человеку становится невозможным решить, был ли предмет теплее в одно время или же три часа назад. По этим причинам субъективные методы установления отношений «одинаково теплое» (E) и «менее теплое» (L) дают очень мало пользы в эмпирических поисках общих законов.

Необходим объективный метод для определения температуры — метод, более точный, чем наши тепловые ощущения, и с результатами которого обычно будут согласны самые разные люди.

Термометр обеспечивает именно такой метод. Предположим, что мы хотим определить изменение температуры воды в сосуде. Для этого мы опускаем ртутный термометр в воду. Когда вода нагревается, ртуть расширяется и поднимается в трубке; когда она охлаждается, ртуть сжимается и опускается вниз. Если на трубке имеется отметка, указывающая высоту ртути, то легко заметить, находится ли ртуть выше или ниже этой отметки, так что два наблюдателя, вероятно, не будут спорить об этом. Если я сегодня замечаю, что жидкость находится выше отметки, то не представляет никакой трудности вспомнить, что вчера она была ниже этой отметки. С полным доверием я могу заявить, что сегодня термометр регистрирует более высокую температуру, чем вчера. Легко видеть, как с помощью этого инструмента могут быть определены отношения E_T и L_T для величины T (температуры). Мы просто приводим термометр в контакт с телом a, ожидая, пока жидкость в его трубке не будет изменять свою высоту, а затем замечаем уровень этой жидкости. Таким же образом мы применяем термометр к телу b. Отношение E определяется посредством подъема жидкости в трубке термометра до той же самой отметки. Отношение L устанавливается между телами a и b в том случае, если жидкость в трубке поднимается до более низкой отметки, когда термометр применяется к a, чем когда он применяется к b.

Первые два правила для определения температуры (T) символически могут быть выражены следующим образом:

Правило 1: Если $E_T(a, b)$, то $T(a) = T(b)$.

Правило 2: Если $L_T(a, b)$, то $T(a) < T(b)$.

Заметим, что для установления двух отношений E и L вовсе нет необходимости иметь шкалу значений, нанесенных на трубке. Если, однако, мы намереваемся использовать термометр, чтобы приписать численные значения T, мы, очевидно, нуждаемся более чем в двух правилах.

Остальные три правила нашей схемы восполняют необходимость в дополнительных условиях. Правило 3 говорит нам, когда приписывается выбранное численное значение, обычно нуль, величине, которую мы пытаемся измерить. Это делается путем спецификации состояния, обычно легко узнаваемого и иногда легко воспроизводимого, которое указывает нам, как приписать выбранное численное значение телу, когда оно находится в указанном состоянии. Например, в метрической шкале температуры (Цельсия) правило 3 приписывает нулевое значение температуре замерзания воды. Позже мы добавим некоторые уточнения к условиям, при которых это правило является адекватным. Теперь же мы примем его, как оно установлено.

Правило 4, обычно называемое правилом единицы измерения, приписывает второе выбранное значение величины телу, характеризуя другое легко узнаваемое и воспроизводимое его состояние. Это второе значение обычно представляет 1, но оно может быть любым числом, отличным от числа, определяемого с помощью правила 3. На метрической шкале температуры оно равно

100. Это число приписывается температуре кипящей воды. Как только это второе значение становится определенным, оказывается возможным найти основу для определения единицы измерения температуры. Мы помещаем термометр в замерзающую воду, отмечаем высоту ртути и делаем отметку нуль. Затем мы опускаем термометр в кипящую воду, замечаем высоту ртути в трубке и делаем отметку 100. Мы еще не имеем шкалы, но мы имеем основание говорить о единице измерения. Если ртуть поднимается от нулевой отметки к отметке 100, то мы можем сказать, что температура повысилась на 100 градусов. Если мы припишем более высокой отметке число 10 вместо 100, *тогда мы можем сказать*, что температура поднялась на 10 градусов.

Последний шаг будет состоять в том, чтобы определить точную форму шкалы. Это достигается посредством правила 5, наиболее важного из всех пяти правил. Оно характеризует эмпирические условия ED_M, при которых мы будем говорить, что две разности D значений величины M являются равными. Заметьте, что мы не говорим о двух значениях, а о двух *разностях* между двумя значениями. Мы хотим охарактеризовать эмпирические условия, при которых мы будем говорить, что разность между любыми двумя значениями величин a и b является той же самой, как и разность между двумя другими значениями, скажем, c и d. Это пятое правило имеет следующую символическую форму:

Если $ED_M(a, b, c, d)$, то $M(a) - M(b) = M(c) - M(d)$.

Правило говорит нам, что если существуют некоторые эмпирические условия для четырех значений величин, в символической формулировке представленных через ED_M, то мы можем сказать, что разность между первыми двумя значениями является той же самой, что и разность между двумя другими значениями.

В случае температуры эмпирические условия относятся к объему испытуемого вещества, используемого в термометре, в нашем примере ртути. Мы должны сконструировать термометр таким образом, что когда разность между двумя любыми объемами ртути, a и b, равна разности между двумя другими объемами, c и d, то шкала будет показывать одинаковую разность температур.

Если термометр имеет стоградусную шкалу, процедура для выполнения условий правила 5 проста. Ртуть помещается в баллончике, находящемся на конце очень тонкой трубки. Тонкость трубки не существенна, но она имеет большое практическое значение, потому что позволяет легко наблюдать очень малые изменения объема ртути. Стеклянная трубка должна быть изготовлена очень тщательно, так чтобы ее внутренний диаметр был всюду одинаков. Вследствие этого одинаковые увеличения объема ртути можно наблюдать как равные расстояния между отметками на трубке. Если мы обозначим расстояние между отметками, когда термометр находится в соприкосновении с телом a и телом b, как $d(a, b)$, тогда правило 5 символически может быть выражено так:

$$\text{Если } d(a,\ b) = d(c,\ d), \quad \text{то} \quad T(a) - T(b) = T(c) - T(d).$$

Теперь мы применим правила 3 и 4. Для этого термометр сначала опускают в замерзающую воду и используют 0 в качестве отметки уровня ртути в трубке. Затем помещают термометр в кипящую воду и уровень ртути обозначают 100. На основе правила 5 трубка может быть разделена на сто равных интервалов между 0 и 100. Эти интервалы могут быть продолжены ниже нуля, пока мы не достигнем точки замерзания ртути. Они могут быть продолжены и выше 100 вплоть до точки кипения и испарения ртути. Если два физика построят свои термометры таким способом и в соответствии с процедурами, охарактеризованными пятью правилами, они придут к одинаковым результатам, когда будут измерять температуру того же самого тела. Это совпадение результатов мы характеризуем утверждением, что два физика используют одну и ту же температурную шкалу. Пять правил определяют единую шкалу для величины, к которой они применяются.

Как физики принимают решение о точном типе шкалы, используемой для измерения величины? Их решения частично основываются на соглашениях, частично на заключениях, связанных с выбором крайних точек по правилам 3 и 4. Единица измерения длины, метр, теперь определяется как длина, равная 1 656 763,83 длины волны в вакууме некоторого типа излучения атома криптона 86. Единица массы или веса, килограмм, основывается на прототипе килограмма, хранящегося в Париже. По отношению к температуре, измеряемой по стоградусной шкале, нуль и 100, как точки замерзания и кипения воды, принимаются вследствие их удобства. В шкале Фаренгейта и так называемой абсолютной шкале Кельвина вместо крайних точек, нуля и 100, выбираются другие состояния веществ. Однако, в сущности, все три шкалы основываются на тех же самых пяти правилах процедуры измерения и, таким образом, могут рассматриваться в принципе как шкалы той же самой формы. Термометр для измерения температуры по Фаренгейту строится точно таким же способом, как и термометр для измерения температуры по стоградусной шкале; они отличаются только способом калибровки. По этой причине весьма просто переводить значения с одной шкалы на другую.

Если два физика принимают совершенно различные процедуры для своих пяти правил, скажем, один из них соотносит температуру с расширением объема ртути, а другой — с расширением железного стержня или же с нагреванием электрическим током некоторого прибора, тогда их шкалы будут совершенно отличными по форме. Две шкалы можно, конечно, согласовать, поскольку это касается правил 3 и 4. Если каждый физик выберет температуры замерзания и кипения воды в качестве двух точек, определяющих его единицу измерения, то, разумеется, они будут согласны, когда будут измерять температуру замерзания или кипения воды. Но когда они будут измерять соответствующими термометрами температуру данной чашки теплой воды, тогда, вероятно, они получат разные результаты, и здесь может не быть простого способа перевода одной шкалы в другую.

Законы, основывающиеся на двух различных видах шкал, не будут иметь ту же самую форму. Одна шкала может привести к законам, которые могут быть выражены очень простыми уравнениями. Другая шкала может привести к законам, требующим очень сложных уравнений. Это обстоятельство делает крайне важным выбор пятого правила процедуры в отличие от более произвольного характера правил 3 и 4. Ученый выбирает эти процедуры с целью упрощения, насколько это возможно, основных законов физики.

В случае температуры абсолютная шкала (Кельвина) приводит к максимальному упрощению законов термодинамики. Стоградусная шкала и шкала Фаренгейта могут рассматриваться как варианты абсолютной шкалы, отличающиеся только калибровкой и легко переводимые в абсолютную шкалу. В прежних термометрах в качестве вещества, измеряющего температуру, использовались такие жидкости, как спирт и ртуть, так же как и газы, которые находились под постоянным давлением, так что изменение температуры вызывало изменение и объема. Оказалось, что независимо от используемого вещества могут быть установлены приблизительно одинаковые формы шкал; но когда были изготовлены более точные инструменты, были замечены небольшие различия. Я здесь не имею в виду просто то, что вещества расширяются в разной степени, когда они нагреваются, но скорее то, что сама форма шкалы чем-то отличается в зависимости от того, используется ли для измерения температуры ртуть или водород. Возможно, ученые выбирают абсолютную шкалу как шкалу, приводящую к наипростейшим законам. Удивительным является тот факт, что эта форма шкалы не определяется природой конкретного вещества, используемого для измерения температуры. Абсолютная шкала ближе к водородной или другой газовой шкале, чем к ртутной, но она не совсем похожа на газовую шкалу. Иногда о ней говорят как о шкале, основанной на «идеальном газе», но это только манера речи.

На практике ученые, конечно, продолжают пользоваться термометрами, содержащими ртуть или другие жидкости, которые имеют шкалы, весьма близкие к абсолютной шкале. Затем они переводят температуры, основанные на этих шкалах, в абсолютную шкалу посредством некоторых поправочных формул. Абсолютная шкала позволяет формулировать законы термодинамики наиболее простым возможным способом, потому что ее значения выражают скорее величины энергии, чем изменения объема различных веществ. Законы, в которые входит температура, будут гораздо более сложными, если будет использована любая другая форма шкалы.

Важно понять, что мы не можем в действительности сказать, что́ мы подразумеваем под любой количественной величиной, пока не сформулируем правила для ее измерения. Может показаться, что сначала наука разрабатывает количественные понятия, а затем ищет способы их измерения. Но количественные понятия в действительности развиваются из процесса измерения. До тех пор пока не были изобретены термометры, понятию температуры не могло быть придано точного значения. Эйнштейн подчеркивает этот пункт в дискуссиях, ведущихся по теории относительности. Он касается преимущественно измерения пространства и времени. Он обращает внимание на то, что мы не можем точно знать, что мы имеем в виду под такими понятиями, как «одинаковая продолжительность», «равенство расстояний (в пространстве)», «одновременность двух событий в разных местах» и т. п., пока мы не определим средства и правила, посредством которых такие понятия измеряются.

В главе 5 мы видели, что существуют как конвенциональные, так и неконвенциональные аспекты процедур, принимаемых для правил 1 и 2. Сходная ситуация имеет место и в отношении правил 3, 4 и 5. Существует некоторая свобода выбора в принятии процедур для этих правил; именно в такой мере эти правила являются делом соглашения (convention). Но они не являются целиком конвенциональными. Для того чтобы решить, какого рода соглашения можно принять, не приходя в противоречие с фактами природы, необходимы фактические знания. Чтобы избежать логических противоречий, необходимо принимать различные логические структуры.

Например, мы решаем принять точку замерзания воды как нулевую точку нашей температурной шкалы, потому что мы знаем, что объем ртути в нашем термометре будет всегда одинаковым всякий раз, когда мы опускаем колбочку инструмента в замерзающую воду. Если мы обнаружим, что ртуть поднимается на одну высоту, когда мы используем замерзающую воду, полученную из Франции, и на другую высоту, когда используется вода, полученная из Дании, или же эта высота изменяется с количеством замерзающей воды, тогда замерзание воды не будет подходящим выбором для применения третьего правила.

Подобный же эмпирический элемент ясно входит в наш выбор кипящей воды в качестве отметки 100. То, что температура любой кипящей воды одинакова, есть факт природы, а не дело соглашения. (Мы предполагаем, что мы уже имеем правила 1 и 2, так что мы имеем способ измерения равенства температур.) Но здесь следует внести уточнение. Температура кипящей воды одинакова в той же самой местности, но на горной вершине, где давление воздуха меньше, вода закипает при несколько меньшей температуре, чем у подножия горы. Чтобы использовать точку кипения воды в соответствии с требованиями четвертого правила, мы должны либо сделать добавление, что кипящая вода должна находиться на определенной высоте, либо внести поправочный фактор, когда она не находится на этой высоте. Строго говоря, даже на установленной высоте мы должны удостовериться с помощью барометра, что мы имеем определенное давление воздуха, или же мы должны внести соответствующую поправку. Эти поправки зависят от эмпирических фактов. Они не являются конвенциональными, произвольно вводимыми факторами.

При установлении эмпирического критерия для применения правила 5, которое определяет форму нашей шкалы, мы стремимся найти форму, которая бы давала наипростейшие возможные законы. Здесь снова в выбор правила входит неконвенциональный аспект, потому что факты природы определяют законы, которые мы стремимся упростить. И наконец, употребление чисел в качестве значений нашей шкалы предполагает структуру логических отношений, которая не является конвенциональной, поскольку мы не можем отказаться от нее, ибо иначе мы попадем в ловушку логических противоречий.

Глава 7

ЭКСТЕНСИВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Измерение температуры требует, как мы узнали из главы 6, схемы из пяти правил. Существуют ли в физике понятия, которые могут быть измерены путем использования более простой схемы? Да, существуют. Большое число величин, называемых «экстенсивными величинами», измеряется с помощью схемы, состоящей из трех правил.

Схема из трех правил применяется к тем ситуациям, в которых две вещи могут быть некоторым способом объединены или соединены, чтобы произвести новую вещь, а значение величины M для новой вещи будет представлять сумму значений M для двух вещей, которые соединяются вместе. Вес, например, является экстенсивной величиной. Если мы положим вместе пятифунтовое и двухфунтовое тела, тогда вес составного тела будет равен семи фунтам. Температура не является такой величиной. Не существует никакой простой операции, с помощью которой мы бы могли взять, скажем, тело с температурой 60°, объединить его с телом, имеющим температуру 40°, и получить тело с температурой 100°.

Операции, посредством которых объединяются экстенсивные величины, в значительной мере изменяются от величины к величине. В простейших случаях эта операция состоит просто в том, что два тела соединяются вместе, или склеиваются, или связываются, или даже, возможно, помещаются рядом, подобно двум грузам на той же самой чашке весов. Повседневная жизнь изобилует такими примерами. Ширина ряда книг на полке равна сумме толщин каждой отдельной книги. Мы берем с полки книгу и прочитываем десять страниц. Позже, в течение дня, мы прочитываем еще десять страниц. В целом мы прочитываем двадцать страниц. После частичного наполнения ванны мы обнаруживаем, что вода в ней слишком горяча, поэтому мы добавляем немного холодной воды. Полный объем воды в ванне будет равен сумме объемов горячей и холодной воды, протекшей через краны. Точная процедура для объединения вещей относительно некоторой экстенсивной величины часто явно не указывается. Это рискованная практика, и она может вызвать большую путаницу и недоразумения. Поскольку существует так много различных способов объединения вещей, важно не предполагать, что метод объединения является известным. Он должен быть явно установлен и ясно определен. Как только это будет сделано, величина может быть измерена путем применения схемы из трех правил.

Первое правило постулирует то, что называют принципом соединения, или «аддитивности». Оно устанавливает, что когда объект составляется из двух компонентов, то значение величины для такого объекта будет равно арифметической сумме значений величин для двух компонентов. Любая величина, которая соответствует этому правилу, называется «аддитивной величиной». Вес представляет собой знакомый нам пример. Операция объединения в этом случае будет состоять просто в том, что два тела кладутся вместе и взвешиваются как одно тело. Мы кладем тело *a* на весы и замечаем его вес. Затем мы заменяем его телом *b* и замечаем вес последнего. Наконец, мы кладем на весы оба тела. Этот новый объект, который есть не что иное, как взятые вместе тела *a* и *b*, будет, конечно, иметь вес, равный арифметической сумме весов *a* и *b*.

Когда в первое время читатель сталкивается с таким правилом, он может считать странным, что мы даже упоминаем о таком тривиальном правиле. Но в логическом анализе научного метода мы должны все сделать явным, включая вещи, которые обыватель считает само собой разумеющимися и не выражает их словами. Естественно, что никто не будет считать, что, когда камень в 7 фунтов помещается на весах рядом с камнем в 5 фунтов, весы покажут полный вес в 70 или 3 фунта. Мы считаем само собой разумеющимся, что составной вес будет равен 12 фунтам. Однако можно допустить, что в некотором другом мире величина веса не будет следовать такому удобному аддитивному образцу. Мы должны установить, следовательно, аддитивность веса явным образом, путем введения аддитивного правила: если два тела соединяются вместе и взвешиваются как одно тело, то их полный вес будет арифметической суммой весов отдельных тел.

Сходные правила должны быть введены для каждой экстенсивной величины. Длина представляет собой другой знакомый нам пример. Одно тело имеет прямое ребро *a*, другое — прямое ребро *b*. Мы помещаем два тела вместе так, чтобы два ребра касались друг друга своими концами и были расположены на одной прямой. Этот новый физический объект — прямая линия — образуется путем соединения *a* и *b* и будет иметь длину, равную сумме длин *a* и *b*.

Ранние формулировки аддитивного правила для длины часто были совершенно неудовлетворительными. Например, некоторые авторы говорили, что, если два отрезка *a* и *b* сложить, длина нового отрезка получается путем сложения длин *a* и *b*. Это крайне плохой способ формулировки правила, потому что в том же самом предложении слово «сложить» употребляется в двух совершенно различных смыслах. Сначала оно используется в смысле соединения двух физических объектов, располагаемых вместе некоторым специфическим способом, а затем употребляется в смысле арифметической операции сложения. Эти авторы, кажется, не сознают, что указанные два понятия являются отличными друг от друга, потому что, когда они переходят к символическому выражению правила, они пишут его следующим образом:

$$L(a+b)=L(a)+L(b).$$

Некоторые авторы, которыми в других отношениях я восхищаюсь, виновны в такой неуклюжей формулировке — формулировке, которая переносит на символы двойное употребление слова «сложение». Второй символ «+» обозначает арифметическую операцию, но первый «+» вовсе не является обозначением арифметической операции. Вы не можете арифметически сложить две линии. То, что вы можете сложить, представляет не линии, а числа, которые выражают длины этих линий. Линии не являются числами, они являются конфигурациями физического пространства. Я всегда подчеркивал, что необходимо отличать арифметическое сложение от того рода сложения, которое представляет физическую операцию соединения. Чтобы помочь нам держать в уме это различие, нужно, если мы будем следовать Гемпелю (который писал о длине как об экстенсивной величине), ввести специальный символ — маленький кружочек «$\circ$» — для физической операции соединения. Это дает нам гораздо более удовлетворительный способ символизации аддитивного правила для длины:

$$L(a\circ b)=L(a)+L(b).$$

Соединение длин может быть представлено графически:

$$\underbrace{\underbrace{a}_{L(a)}\quad\underbrace{b}_{L(b)}}_{L(a\circ b)\quad [\text{не } «L(a+b)»].}$$

Хотя в случае веса не имеет значения, как именно помещены вместе два тела на весах, в случае длины это имеет значение. Предположим, что два отрезка расположены подобно следующим:

Они соприкасаются своими концами, но расположены не на одной прямой линии. Расстояние между точками A и C не равно сумме длин a и b. Мы должны, следовательно, всегда быть аккуратными, чтобы точно охарактеризовать, чтó мы понимаем под операцией соединения.

Теперь мы можем символически представить общий принцип аддитивности по отношению к любой экстенсивной величине M с помощью следующей записи:

$$M(a \circ b) = M(a) + M(b).$$

В этом утверждении символ «$\circ$» указывает на специфическую процедуру соединения a и b. Будет лучше, если мы назовем это вторым правилом нашей схемы из трех правил, скорее, чем первым правилом. Первое правило, которое проще, есть правило равенства. Оно есть то же самое, что и первое правило схемы из пяти правил для измерения температуры. Оно характеризует процедуру, посредством которой мы определяем равенство величин. В случае веса мы говорим, что два тела будут иметь тот же самый вес, если весы будут оставаться в равновесии, когда на их чашки мы положим эти тела.

Третье правило соответствует правилу 4 схемы для температуры. Оно характеризует значение единицы измерения для величины. Это обычно делается путем выбора тела или естественного процесса, который может быть легко воспроизведен, и затем определения значения единицы измерения в терминах этого тела или процесса. Я упоминал раньше о двух примерах: метре, основанном на множестве длин волн некоторого типа излучения, и килограмме, базирующемся на международном прототипе, хранящемся в Париже. Метр и килограмм являются стандартными единицами длины и веса в метрической системе измерения.

Резюмируя, мы можем сказать, что наша схема для измерения любой экстенсивной величины состоит из следующих трех правил:

1. Правило эквивалентности.
2. Правило аддитивности.
3. Правило единицы измерения.

Поскольку эта схема проще, чем ранее обсуждавшаяся схема из пяти правил, то почему она не всегда используется? Ответ на этот вопрос заключается, конечно, в том, что для многих величин не существует никакой операции соединения, которая обеспечивала бы основу для применения аддитивного принципа. Мы уже видели, что температура не является аддитивной величиной. Основной тон звука и твердость тел представляют два других примера. По отношению к таким величинам мы не можем найти операцию соединения, которая была бы аддитивной. Поэтому такие величины называют «неэкстенсивными» или «интенсивными» величинами. Однако в физике имеется большое число аддитивных величин, для которых вышеупомянутая трехчленная схема дает адекватную основу для их измерения.

Многие ученые и философы науки рассматривают термины «экстенсивная величина» и «аддитивная величина» как синонимы, но некоторые авторы проводят здесь различие. Если мы хотим провести такое различие, то оно должно быть сделано следующим образом. Мы назовем величину экстенсивной, если мы можем придумать операцию, которая будет представляться естественной операцией соединения и для которой может быть построена шкала измерения. Если мы обнаружим, что относительно выбранной шкалы и избранной операции аддитивный принцип выполняется, мы назовем величину аддитивной, так же как и экстенсивной. Мы можем сказать, что она является аддитивно-экстенсивной величиной. Если же аддитивный принцип не выполняется, мы назовем ее неаддитивно-экстенсивной величиной.

Почти все экстенсивные величины физики являются аддитивными, но существуют и некоторые исключения. Замечательным примером является относительная скорость в специальной теории относительности. В классической физике относительная скорость вдоль прямой линии является аддитивной в следующем смысле. Если тела A, B, C движутся по прямой линии в том же самом направлении и скорость B относительно A есть V_1, скорость

C относительно B есть V_2, то скорость V_3 движения C относительно A, согласно классической физике, должна быть равна $V_1 + V_2$. Если вы идете вдоль главного прохода самолета, летящего точно на запад, какова будет ваша скорость в этом направлении по отношению к земле? До появления теории относительности на это можно было ответить просто путем прибавления к скорости самолета вашей собственной скорости внутри самолета. Сейчас мы знаем, что относительные скорости не являются аддитивными. Для этого должна быть использована специальная формула, в которую скорость света входит в качестве одного из членов. Когда скорости являются весьма малыми относительно скорости света, мы можем обращаться с ними как с аддитивными величинами, но, если они будут очень большими, мы должны использовать следующую формулу, в которой c есть скорость света:

$$V_3 = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1 V_2}{c^2}} .$$

Вообразим, например, что космический корабль B, движущийся по прямой, проходит планету A с относительной скоростью V_1. Космический корабль C, движущийся в том же направлении, имеет скорость V_2 относительно космического корабля B. Какова будет относительная скорость V_3 корабля C по отношению к планете A? Если скорости V_1 и V_2 космических кораблей будут малы, то значение дроби, которая должна быть прибавлена к 1 в знаменателе формулы, будет так мало, что оно может не приниматься в расчет. Мы получим тогда V_3 просто путем сложения V_1 и V_2. Но если космические корабли движутся с очень большими скоростями, скорость света c становится фактором, который должен приниматься в расчет. В этом случае V_3 будет значительно отличаться от простой суммы V_1 и V_2. Если вы будете исследовать формулу, то увидите, что независимо от того, насколько приближаются относительные скорости кораблей к скорости света, их сумма не может превысить скорости света. Мы заключаем, таким образом, что относительная скорость в специальной теории относительности есть экстенсивная величина (потому что она может быть определена с помощью операции соединения), но она не аддитивна.

Другими примерами экстенсивно-неаддитивных величин являются тригонометрические функции углов. Предположим, что вы имеете угол α между прямыми кромками L_1 и L_2 куска металлического листа A (рис. 7-1). Другой кусок металлического листа B имеет угол β между кромками L_3 и L_4. Теперь мы соединим два угла, поместив их

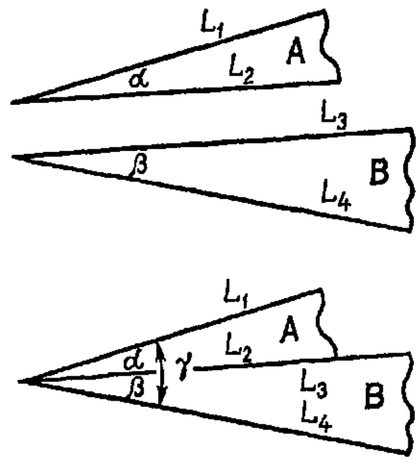


Рис. 7-1.

так, чтобы их вершины совпали и L_2A совпала с частью L_3B. Ясно, что угол γ между L_1 и L_4 будет представлять результат сложения углов α и β. Мы можем сказать, таким образом, что, когда углы соединены указанным способом и величины их измеряются обычным путем, их значения являются аддитивными. Игол γ имеет значение, равное сумме значений α и β. Но их значения *не будут* аддитивными, если мы возьмем в качестве нашей величины одну из тригонометрических функций, такую, как синус каждого угла. Если мы хотим, то мы можем назвать синус величиной экстенсивной (поскольку мы имеем операцию соединения), но это неаддитивная величина. С другой стороны, мы можем решить, что мы не хотим назвать синус экстенсивной величиной, поскольку операция соединения в действительности относится не к синусам, а к углам. Но это не совсем то же самое, что сложение синусов. С этой, второй точки зрения синус не является экстенсивной величиной.

Критерий, который мы предложили для решения того, является *ли* величина экстенсивной или нет, как мы видим, не является точным. Если вы помните, мы говорили, что, когда мы можем придумать операцию, которая нам *кажется* естественной операцией соединения по отношению к данным величинам, тогда мы можем назвать такую операцию экстенсивной. Один человек может сказать, что для него операция сложения двух углов представляет вполне естественный способ соединения синусов. Для него тогда синус является неаддитивно-экстенсивной величиной. Кто-то другой может сказать, что это очень хорошая операция для соединения углов, но не для соединения синусов. Для такого лица синус не является экстенсивной величиной. Иными словами, существуют крайние случаи, когда назвать ли величину экстенсивной или нет представляет субъективное дело. Поскольку такие случаи экстенсивных, но неаддитивных величин относительно редки и даже сомнительны (сомнительны потому, что мы не хотим принять предложенную операцию как законную операцию соединения), то вполне понятно, что многие авторы используют термины «экстенсивный» и «аддитивный» как синонимы. Нет необходимости критиковать такое употребление терминов. Для таких авторов термин «экстенсивный» применяется к величине только тогда, когда имеется операция соединения, относительно которой выполняется аддитивный принцип, как это имеет место для длины, веса и многих обычных величин физики.

Теперь следует сделать некоторые замечания относительно измерения временных интервалов и длин, потому что в некотором смысле эти две величины являются основными в физике. Раз мы можем измерить их, мы можем определить многие другие величины. Быть может, нельзя определить эти величины явно (эксплицитно), но мы можем по крайней мере ввести их посредством операционных правил, в которых используется понятие расстояния в пространстве или времени. Вспомните, например, что в правилах для измерения температуры мы использовали понятия объема ртути и длины столбика ртути в трубке. В этих случаях мы предполагали, что мы уже знаем, как измерить длину. При измерении многих других физических величин делаются подобные же ссылки относительно измерения длины в пространстве и продолжительности во времени. В этом смысле длина и продолжительность могут рассматриваться как первичные величины. В главах 8 и 9 будут рассматриваться процедуры, посредством которых измеряются пространство и время.

Глава 8

ВРЕМЯ

Какого рода операция соединения может быть использована для объединения интервалов времени? Здесь мы сразу же сталкиваемся с серьезной трудностью. Мы не можем обращаться с временны́ми интервалами тем же самым способом, как мы можем обращаться с пространственными интервалами, или, более точно, рёбрами твердых тел, представляющих пространственные интервалы. Не существует никаких твердых ребе́р времени, которые можно было бы соединить, чтобы образовать прямую линию.

Рассмотрим два таких интервала: длительность какой-либо войны с первого выстрела и до последнего и длительность какой-либо грозы с первого удара грома

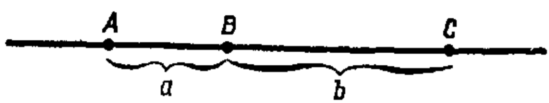


Рис. 8-1.

до последнего. Как мы можем соединить две эти длительности? Мы имеем два отдельных события, каждое с некоторой длиной во времени, но не существует никакого способа, который мог бы связать их вместе. Конечно, если два события уже являются смежными, то мы можем признать этот факт, но мы не можем сдвигать во времени события вокруг нас, как мы можем перемещать ребра физических тел.

Самое лучшее, что мы можем сделать, — это представить два временны́х интервала на концептуальной шкале. Предположим, что мы имеем одно событие *a*, которое совершается от временной точки *A* до точки *B*, и второе событие *b*, которое происходит между временными точками *B* и *C* (рис. 8-1). Начальная точка события *b* совпадает с конечной точкой события *a*, поэтому эти два события являются смежными во времени. Мы не приводим их в эту позицию — так они в действительности происходят. Длина промежутка времени от точки *A* до точки *C* может теперь рассматриваться как результат объединения

a и b. Но это объединение понимается не в физическом смысле, а в концептуальном, то есть посредством способа, с помощью которого мы рассматриваем эту ситуацию. Концептуальная операция, символически обозначаемая посредством «$\circ$», позволяет нам сформулировать следующее правило аддитивности для измерения временной длительности T:

$$T(a \circ b) = T(a) + T(b).$$

Иными словами, если мы имеем два события, одно из которых начинается как раз тогда, когда другое кончается, тогда длительность совокупного события будет равна арифметической сумме длительностей двух событий. Это правило не так сильно, как правило аддитивности для пространственных длин, потому что мы можем применить его только к тем событиям, которые являются смежными во времени, но не к любым парам событий.

Позже, когда мы разработаем схему для измерения времени, состоящую из трех правил, мы будем в состоянии измерять совокупную длительность несмежных событий. Теперь же мы только ищем операцию соединения, которая бы служила основой для аддитивного правила. Такую операцию мы находим в появлении событий, смежных во времени.

Чтобы завершить нашу схему, мы нуждаемся еще в двух правилах: правиле эквивалентности и правиле, которое определяет единицу измерения. Оба эти правила обычно основываются на некотором типе периодического процесса: колебании маятника, вращении земли и т. п. Любые часы представляют инструмент для создания периодического процесса. В некоторых часах это осуществляется с помощью маятника, в других — путем балансирного колеса. Солнечные часы измеряют время посредством периодического движения солнца в небе. Тысячи лет ученые основывали эту единицу времени на продолжительности дня, то есть на периодическом вращении земли. Но поскольку степень земного спина несколько меняется, в 1956 году было достигнуто международное соглашение основывать единицу времени на периодическом вращении земли вокруг солнца в один определенный год. Соответственно этому секунда определялась как 1/31 556 925 9747 часть 1900 года[1]. В 1964 году отказались от этого, поскольку можно было достичь еще большей точности, основывая секунду на периоде колебания атома цезия.

Это понятие «периодичности», столь существенное для определения единицы времени, должно быть полностью осознано до того, как мы перейдем к рассмотрению правил эквивалентности и единицы измерения, которые могут быть основаны на нем.

Прежде всего мы должны ясно различать два смысла «периодичности», один — слабый и другой — сильный. В слабом смысле процесс считается периодическим просто, если он повторяется снова и снова. Биение пульса периодично. Периодичны также колебания маятника. Но в таком слабом смысле периодичным будет также выход мистера Смита из дома. Это повторяется снова и снова, сотни раз в течение жизни мистера Смита. Ясно, что периодичность в слабом смысле повторяется. Иногда периодичность означает повторяемость полного цикла различных фаз в том же циклическом порядке. Маятник, например, совершает колебание от самой нижней точки до самой верхней точки вправо, потом проходит нижнюю точку и достигает самой верхней точки влево и, наконец, снова возвращается к самой нижней точке. Потом этот полный цикл повторяется снова. Повторяться может не только одно событие, но и целая последовательность событий. Это, однако, вовсе не необходимо, чтобы назвать процесс периодическим. Достаточно, если одна фаза процесса продолжает повторяться. Такой процесс является периодическим в слабом смысле.

Часто, когда кто-то говорит о процессе как периодическом, то он имеет в виду значительно более сильный смысл: дополнительно к слабой периодичности такой процесс характеризуется тем, что интервалы между последовательными появлениями некоторой фазы являются равными. Относительно выходов мистера Смита из дома это условие, очевидно, не выполняется. Иногда он может оставаться дома несколько часов. В другие дни он может покидать дом несколько раз в течение часа. В противоположность этому движения баланса колеса хорошо

[1] В качестве эталона времени при этом принималась длительность тропического года, то есть промежуток времени между двумя последовательными весенними равноденствиями. — *Прим. перев.*

сконструированных часов являются периодическими в сильном смысле. Ясно, что существует огромная разница между двумя типами периодичности.

Какой тип периодичности мы должны взять в качестве основы для измерения времени? Сначала мы склоняемся к ответу, что, очевидно, мы должны выбрать процесс, который является периодическим в сильном смысле. Мы не можем опираться при измерении времени на выходы мистера Смита из дома, потому что они являются слишком нерегулярными. Мы не можем даже использовать здесь пульс, хотя он значительно ближе подходит к периодическим процессам в сильном смысле, чем выходы мистера Смита, но все же и удары пульса не представляют достаточно регулярного процесса. Если кто-либо быстро бежит или кого-то сильно лихорадит, то его пульс бьется чаще, чем обычно. Мы нуждаемся в периодическом процессе, который был бы как можно более регулярным.

Но в этом рассуждении есть нечто ошибочное. Мы не можем знать, что процесс является периодическим в сильном смысле, если мы уже не имеем метода для определения равных интервалов времени! Именно такой метод мы и хотим найти с помощью наших правил. Как мы можем избежать здесь порочного круга? Мы можем сделать это, только отказавшись от требования периодичности в сильном смысле. Мы вынуждены отказаться от него, потому что мы не имеем еще основы для его принятия. Мы находимся в позиции наивного физика, подходящего к проблеме измерения времени, не располагая даже преимуществами донаучных понятий равных интервалов времени. Не имея никакой основы для измерения времени, он пытается наблюдать периодические процессы в природе, которые в состоянии дать такую основу. Поскольку он не располагает никаким способом измерения интервалов времени, то он не имеет никакого способа для обнаружения того, является или не является определенный процесс периодическим в сильном смысле.

Именно это мы и должны сделать. Сначала мы находим процесс, который был бы периодическим в слабом смысле (это может быть также и периодический процесс в сильном смысле, но мы пока еще не можем знать этого). Затем мы берем в качестве нашей операции соединения два интервала времени, являющиеся последовательными в том смысле, что один начинается точно тогда, когда кончается другой. Мы утверждаем, согласно нашему правилу аддитивности, что длина полного интервала будет равна арифметической сумме длин двух отдельных интервалов. Впоследствии мы можем применить это правило для выбора периодического процесса.

Чтобы закончить нашу схему, мы должны найти правила для эквивалентности и единицы измерения. Продолжительность любого периода выбранного процесса может служить в качестве нашей единицы времени. На рис. 8-2 эти периоды изображены в виде длин a, b, c, d, ... между временными точками A, B, C, D, E, ... Мы говорим, что каждый из этих отрезков имеет длину в одну единицу. Кто-то может возразить: «Но период b

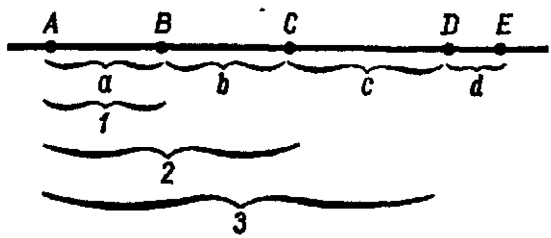


Рис. 8-2.

взят гораздо более долгим, чем период a». На это можно ответить так: «Мы не знаем, что вы понимаете под «более долгим». Мы пытаемся установить правила для измерения времени так, чтобы мы были в состоянии придать точное значение термину «более долгий».

Теперь, после того как мы определили нашу единицу времени (она представляет просто длительность каждого периода выбранного процесса), наше правило аддитивности дает нам основу для измерения длительности времени. Это правило говорит нам, что интервал времени от точки A до точки C равен 2, от точки A до точки D — 3 и т. п. Мы можем теперь измерить любой интервал времени, даже если мы основываем нашу процедуру на слабом периодическом процессе. Мы просто отсчитываем число периодов, встречающихся в. событии, которое мы хотим измерить. Это число и будет длительностью события. Правило для эквивалентности является здесь очевидным. Оно говорит, что два интервала (которые могут быть значительно отделены друг от друга во времени) будут равны, если оба содержат одинаковое число элементарных периодов периодического процесса. Этим завершается наша схема из трех правил. Мы имеем правило эквивалентности, правило аддитивности и правило для единицы измерения. На основе этой схемы мы имеем метод для измерения времени.

Здесь могут возникнуть возражения. Может ли такая схема действительно основываться на любом слабом периодическом процессе? Например, может ли она основываться на выходах мистера Смита из дома? Как ни удивительно, мы должны ответить «да», хотя, как я объясню несколько позже, законы физики будут значительно проще, если мы выберем некоторые другие процессы. Важно понять теперь, что, как только мы установим схему для измерения времени, даже если она основывается на таком нерегулярном процессе, как выходы мистера Смита из дома, мы получим средство для определения того, эквивалентен ли один периодический процесс другому.

Предположим, что мы приняли в качестве нашей основы для измерения времени периодический процесс P. Мы можем теперь сравнить P с другим слабо периодическим процессом P', чтобы установить, когда они являются «эквивалентными». Допустим, например, что P, выбранный нами периодический процесс, представляет колебания какого-либо короткого маятника. Мы хотим сравнить его с P', колебаниями более длинного маятника. С точки зрения того факта, что периоды колебания этих двух маятников не равны, как мы можем сравнить вышеотмеченные периодические процессы? Мы делаем это путем отсчета числа колебаний обоих маятников за более длительный интервал времени. Мы можем обнаружить, что десять колебаний короткого маятника совпадает с шестью колебаниями длинного. Это встречается всякий раз, когда мы повторяем испытание. Однако мы не в состоянии иметь дело с дробными частями периодов колебаний, поэтому наше сравнение должно быть осуществлено в целых числах колебаний. Мы можем заметить, однако, что совпадение здесь не является вполне точным. После десяти колебаний короткого маятника длинный маятник начинает совершать уже седьмое колебание. Поэтому мы исправляем наше сравнение, взяв более длинный интервал времени, такой, как сотня колебаний короткого маятника.

Всякий раз, когда испытание повторяется, мы обнаруживаем, что в течение этого времени длинный маятник совершит шестьдесят два колебания. Таким путем мы можем уточнить наше сравнение настолько, насколько мы пожелаем. Если мы обнаружим, что некоторое число периодов процесса P всегда соответствует определенному числу периодов процесса P', тогда мы говорим, что эти два периодических процесса эквивалентны.

Существование очень обширных классов периодических процессов, эквивалентных друг другу в указанном смысле, является фактом природы. Это не есть нечто такое, что мы можем знать априори. Мы обнаруживаем существование обширных классов благодаря исследованию реального мира. Мы не можем сказать, что эти эквивалентные периодические процессы относятся к процессам сильного типа, но мы можем сравнить любые два из них и установить, что они являются эквивалентными. Все колеблющиеся маятники принадлежат к этому классу, так же как движения балансирных колес в настенных и карманных часах, кажущееся движение солнца по небу и т. п. Мы находим в природе огромный класс процессов, любые два из которых оказываются эквивалентными, когда мы сравниваем их по способу, объясненному в предыдущем параграфе. Насколько мы знаем, существует только *один* обширный класс такого рода.

Что произойдет, если мы решимся основать нашу шкалу времени на периодических процессах, которые не принадлежат к этому обширному классу эквивалентных процессов, например таких, как биение пульса? Результаты будут в какой-то мере странными, но мы хотим подчеркнуть, что выбор биений пульса в качестве основы для измерения времени не приведет нас к какому-либо логическому противоречию. Измерение времени на такой основе ни в каком смысле не может считаться ложным.

Вообразим, что мы живем в самую раннюю фазу развития понятия измерения. Мы не располагаем никакими инструментами для измерения времени, такими, как часы, поэтому мы не имеем никакого способа для определения того, как могут изменяться биения нашего пульса при различных физиологических обстоятельствах. Мы стремимся вначале разработать операциональные правила для измерения времени, а затем решаем использовать биения моего пульса в качестве основы для измерения.

Как только мы сравним биения моего пульса с другими периодическими процессами в природе, мы обнаружим, что все виды процессов, которые мы можем мыслить единообразными, не оказываются таковыми. Например, мы обнаруживаем, что солнце проходит свой путь по небу за столько-то биений пульса, когда я чувствую себя хорошо. Но когда меня лихорадит, то оно затрачивает на тот же путь значительно больше времени. Мы находим это странным, но не имеется ничего логически противоречивого в нашем описании целого мира на такой основе. Мы не можем сказать, что выбор колебаний маятника в качестве единицы измерения времени является «правильным», а биений моего пульса — «ложным» выбором. Ни о какой правильности или ложности здесь говорить нельзя, потому что в обоих случаях не существует никакого логического противоречия. Это просто выбор между простым и сложным описанием мира.

Если мы основываем время на моем пульсе, то мы должны говорить, что все виды периодических процессов в природе имеют временные интервалы, которые изменяются в зависимости от того, что я делаю или как я себя чувствую. Если я быстро бегу некоторое время, затем останавливаюсь и измеряю процессы природы посредством моего пульса, то я замечаю, что в то время, когда я бегу, и несколько позже течение вещей в мире замедляется. Через несколько минут они возвращаются в нормальное состояние. Вы должны помнить, что мы предполагаем, что находимся в эпоху, когда никакие знания о законах природы не были известны. Мы не располагаем никакими учебниками физики, которые информировали бы нас, что тот или иной процесс является единообразным. В нашей примитивной системе физики вращение земли, колебание маятника и т. п. выступают как весьма нерегулярные процессы. Они имеют одну скорость, когда я чувствую себя хорошо, и другую, когда меня лихорадит.

Мы, таким образом, можем сделать здесь настоящий выбор. Но это не выбор между правильной и ошибочной измерительной процедурой, а выбор, основанный на простоте. Мы найдем, что если мы выберем в качестве нашей основы времени колебания маятника, то возникающая при этом система физических законов будет гораздо проще, чем когда мы выберем биения моего пульса. Эти законы значительно усложнятся, если в качестве основы для измерения времени мы используем биения моего пульса, но будет, конечно, гораздо хуже, если для этого мы выберем выходы мистера Смита из дому, если мистер Смит не похож на Иммануила Канта, который, говорят, выходил из дому каждое утро точно в то же самое время, так что окрестные жители могли сверять свои часы по его появлению на улице. Но никакие обычные передвижения смертных не могут быть подходящей основой для измерения времени.

Под «подходящей» я, конечно, имею в виду такую основу, которая приводит к простым законам. Когда мы основываем наше измерение времени на колебаниях маятника, то мы находим, что вся вселенная функционирует очень правильно и может быть описана с помощью весьма простых законов. Читатель, когда он изучал физику, мог не считать эти законы простыми, но они являются простыми в относительном смысле. Законы были бы гораздо более сложными, если бы мы в качестве единицы времени приняли биения пульса. Физики постоянно выражают удивление по поводу простоты новых законов. Когда Эйнштейн открыл свой общий принцип относительности, он выразил изумление по поводу того факта, что такой сравнительно простой принцип управляет всеми явлениями, к которым он применим. Такой простоты не было бы, если бы мы основывали свою систему измерения времени на процессе, который не принадлежит к очень обширному классу взаимно эквивалентных процессов.

Биения моего пульса, напротив, принадлежат к чрезвычайно небольшому классу эквивалентных процессов. Только другие члены моего собственного тела, вероятно физиологически, связаны с ударами сердца. Пульс на моем левом запястье эквивалентен пульсу на запястье правой руки. Но, помимо процессов, связанных с деятельностью сердца, трудно обнаружить в природе какой-либо процесс, который был бы эквивалентен моему пульсу. Мы имеем здесь, следовательно, крайне малочисленный класс эквивалентных процессов по сравнению с таким очень обширным классом, который включает движения планет, колебания маятников и т. п. Поэтому в качестве основы для измерения времени желательно выбрать процесс именно из этого обширного класса.

При этом не имеет большого значения, какой процесс из этого класса мы выберем, так как мы еще не заботимся о большой точности измерения. Как только мы сделаем выбор, мы можем сказать, что процесс, который мы выбрали, является периодическим в строгом смысле слова. Это, конечно, дело определения. Но теперь другие процессы, которые эквивалентны ему, являются строго периодическими не тривиальным образом, не просто по определению. Мы делаем эмпирические испытания и путем наблюдений находим, что эти процессы являются строго периодическими в том смысле, что они обнаруживают большое единообразие в своих временны́х интервалах. В результате этого мы оказываемся в состоянии описывать процессы природы относительно простым способом. Этот пункт настолько важен, что я подчеркиваю его многократным повторением. Наш выбор процесса в качестве основы для измерения времени не является ни правильным, ни ложным. Логически возможен любой выбор. И любой выбор приводит к непротиворечивой совокупности законов природы. Но если мы основываем наше измерение времени на таких процессах, как колебание маятника, мы придем к гораздо более простой физике, чем когда мы используем некоторые другие процессы.

Исторически наше физиологическое чувство времени, наше интуитивное ощущение повторяемости явлений, несомненно, играло роль при выборе тех процессов, которые мы принимаем в качестве основы для измерения времени. Кажущийся восход и заход солнца происходит регулярно, поэтому солнечные часы стали удобным способом измерения времени, гораздо более удобным, чем, например, движения облаков. Подобным же образом на ранних этапах цивилизации было найдено удобным основывать часы на времени падения песка, протекания воды или других процессов, которые приблизительно эквивалентны движению солнца. Но основной пункт остается неизменным: выбор делается в терминах удобства и простоты.

Глава 9

ДЛИНА

Перейдем теперь от понятия времени к другому основному понятию физики — длине, и рассмотрим его более подробно, чем мы делали до сих пор. Вспомните, что в главе 7 мы рассматривали длину как экстенсивную величину, измеряемую посредством трехчленной схемы. Правило 1 определяет эквивалентность: отрезок, отмеченный на одном ребре, имеет равную длину с другим отрезком на другом ребре, если конечные точки этих

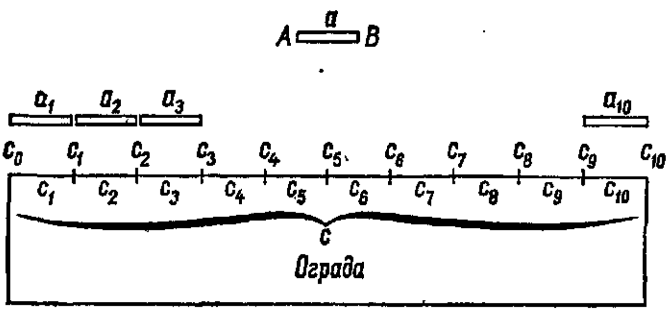


Рис. 9-1.

отрезков могут быть совмещены друг с другом. Правило 2 определяет аддитивность: если мы соединим два ребра по прямой, то их общая длина будет равна сумме их отдельных длин. Правило 3 характеризует единицу длины: мы выбираем стержень с прямым ребром, отмечаем две точки на этом ребре и берем отрезок между двумя этими точками в качестве нашей единицы длины.

Основываясь на этих трех правилах, мы можем теперь применить обычную процедуру измерения. Предположим, что мы хотим измерить длину длинного края c, скажем, края ограды. Мы имеем измерительный стержень, на котором наша единица длины отмечена конечными точками A и B. Мы располагаем стержень вдоль c в положении a_1 (см. рис. 9-1), так что A совпадет с одной из конечных точек C_0 на c. На крае ограды c мы отметим точку C_1, которая совпадет с концом B нашего стержня. Затем мы передвигаем стержень a в смежную позицию a_2 и отмечаем точку C_2 на c и т. д., пока мы не достигнем другого конца c. Предположим, что десятая позиция a_{10} стержня такова, что его конечная точка B приблизительно совпадет с конечной точкой $C_{10}c$. Пусть $c_1, c_2, \ldots, c_{10}$ будут отмеченными отрезками c. По правилу 3 мы имеем

$$L(a) = L(a_1) = L(a_2) = \ldots = L(a_{10}) = 1.$$

Таким образом, по правилу 1, эквивалентности:

$$L(c_1) = 1, \quad L(c_2) = 1, \ldots L(c_{10}) = 1.$$

По правилу 2, аддитивности:

$$L(c_1 \circ c_2) = 2, \quad L(c_1 \circ c_2 \circ c_3) = 3 \ldots$$

Следовательно,

$$L(c) = L(c_1 \circ c_2 \circ \ldots \circ c_{10}) = 10.$$

Эта процедура, являющаяся основной процедурой для измерения длины, в качестве значений измеряемой

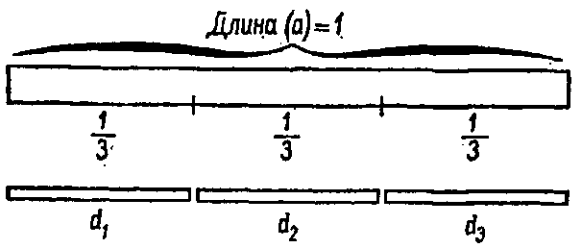


Рис. 9-2.

длины дает только целые числа. Очевидное уточнение достигается посредством деления единицы длины на n равных частей. (Дюйм традиционно делится последовательно пополам: сначала на две части, затем на четыре, восемь и т. д. Метр делится на десять последовательных частей: сначала на десять, затем на сто и т. д.) Таким образом мы в состоянии построить, путем проб и ошибок, вспомогательный измерительный стержень, разделенный на отрезки длины d, таких, что d может быть отложено вдоль единичного ребра a в n смежных позициях $d_1, d_2, \ldots, d_n$ (см. рис. 9-2).

Мы можем теперь сказать, что

$$n \times L(d) = L(a) = 1.$$

Следовательно:

$$L(d) = \frac{1}{n}.$$

С помощью этих частей отрезков, отложенных на a, мы можем теперь более точно измерить длину данного ребра. Когда мы снова измерим длину ограды c в предыдущем примере, то может оказаться, что эта длина равна не 10, а более точно 10,2. Таким способом вводятся в измерение дроби. Мы больше не ограничиваемся целыми числами. Измеряемое значение может быть любым положительным рациональным числом.

Важно понять, что, делая такие уточнения при измерении, мы можем вводить все меньшие и меньшие дроби, но мы никогда не придем к числам, которые не были бы рациональными. С другой стороны, класс возможных значений величин в физике обычно рассматривается как содержащий все действительные числа (или все действительные числа определенного интервала), куда входят как иррациональные, так и рациональные числа. Однако иррациональные числа вводятся на более поздней стадии, чем измерение. Непосредственное измерение может дать только значения, выражаемые с помощью рациональных чисел. Но когда мы формулируем законы и делаем вычисления с помощью этих законов, тогда на сцену выступают иррациональные числа. Они вводятся не в процессе измерения, а в теоретическом контексте.

Чтобы сделать это яснее, рассмотрим теорему Пифагора, которая утверждает, что квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов. Это теорема геометрии, но когда мы применяем ее к физическим отрезкам, она становится также физическим законом. Предположим, что мы вырезали из деревянной доски квадрат со стороной, равной единице длины. Теорема Пифагора говорит нам, что длина диагонали этого квадрата (рис. 9-3) равна квадратному корню из 2. Квадратный корень из 2 представляет иррациональное число. Поэтому диагональ квадрата не может быть измерена с помощью линейки совершенно точно, независимо от того какие мелкие доли единицы измерения мы выберем. Однако когда мы используем теорему Пифагора, чтобы вычислить длину

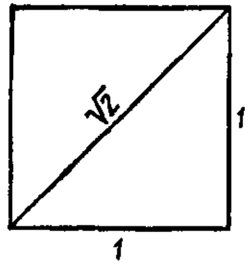


Рис. 9-3.

диагонали, то мы косвенно получим иррациональное число.

Подобным же образом, если мы измерим диаметр круглого деревянного диска и найдем, что он будет равен 1, тогда с помощью вычисления мы обнаружим, что длина окружности диска будет равна иррациональному π (пи).

Поскольку иррациональные числа всегда получаются в результате вычислений, а не непосредственных измерений, то нельзя ли и в физике совершенно отказаться от иррациональных чисел и оперировать только рациональными числами? Это, конечно, возможно, но это было бы революционным изменением. Мы, например, были бы не в состоянии больше работать с дифференциальными уравнениями, потому что такие уравнения требует континуума действительных чисел. Физики, однако, не находят достаточных оснований для подобных изменений. Верно, однако, что в квантовой физике мы с самого начала обнаруживаем тенденцию к дискретности. Например, электрический заряд измеряется только в величинах, которые представляют кратное минимального электрического заряда.

Если мы возьмем этот минимальный заряд как единицу, тогда все значения электрических зарядов будут представляться целыми числами. Квантовая механика не является все же полностью дискретной, но она настолько дискретна, что некоторые физики с самого начала выдвигают предположение о возможной дискретности всех физических величин, включая пространство и время. Это только предположение, хотя и наиболее интересное.

Какого рода законы будут возможны в такой физике? Там будет, вероятно, минимальное значение для каждой величины, а все бóльшие значения будут выражаться как кратные этого основного значения. Минимальное значение для длины предлагали назвать «ходоном», а для времени — «хрононом». Дискретное время будет состоять из непостижимых мгновенных скачков, подобных движению стрелки электрических часов, когда она перескакивает от одной секунды к другой. Никакое физическое событие не может произойти в пределах любого интервала между скачками.

Дискретное пространство может состоять из точек такого рода, которые показаны на рис. 9-4. Линии, соединяющие их на рисунке, показывают, какие точки являются «соседними точками» (например, *B* и *C* — соседние точки, а *B* и *F* — нет). В обычной геометрии непрерывного мы должны говорить, что существует бесконечное множество точек между *B* и *C*, но в дискретной геометрии, если физика придерживается этого взгляда на пространство, мы обязаны сказать, что между *B* и *C* не существует никаких промежуточных точек. Никакое

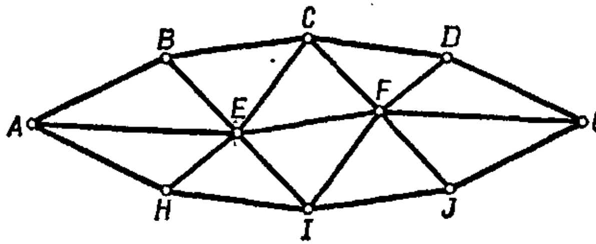


Рис. 9-4.

физическое явление какого-либо рода не может находиться в позиции «между» *B* и *C*. Например, электрон будет находиться в одной из точек сетки, а не где-либо еще на диаграмме. Длина будет определяться как минимальное расстояние, связывающее две точки. Мы можем условиться считать расстояние между двумя соседними точками равным 1. Тогда длина пути *ABCDG* будет равна 4, а *AEFG* — 3. Мы будем говорить, что расстояние от *A* до *G* равно 3, потому что оно представляет кратчайший путь от *A* до *G*. Каждая длина будет выражаться целым числом. Фактически никакой системы такого рода не было построено для физики, хотя многие предварительные наметки и были сделаны. Некоторые физики размышляли даже о размерах этих минимальных величин.

Когда-то в будущем, когда мы гораздо больше будем знать о пространстве и времени и других величинах физики, возможно, что мы обнаружим, что все они являются дискретными. Тогда законы физики будут иметь дело исключительно с целыми числами. Они будут, конечно, целыми числами огромных размеров. В миллиметре длины, например, будут содержаться биллионы минимальных единиц. Значения, принимаемые величинами, будут так близки друг к другу, что практически мы можем поступать с ними так, как если бы мы имели континуум действительных чисел. Практически физики, вероятно, будут продолжать пользоваться дифференциальными и интегральными исчислениями и формулировать законы в виде дифференциальных уравнений так же, как и прежде. Самое большее, что мы можем сказать теперь, — это то, что некоторые особенности физики благодаря принятию дискретной шкалы станут проще, в то время как другие значительно усложнятся.

С помощью наших наблюдений мы никогда не можем решить, должно ли быть выражено значение величины рациональным или иррациональным числом, поэтому этот вопрос является целиком вопросом удобства: будет ли наиболее полезной для формулировки некоторых физических законов дискретная или непрерывная шкала чисел?

Описывая, как могут быть измерены длины, мы до сих пор не рассматривали один крайне важный вопрос: какого рода тело мы должны взять в качестве стандартной измеряющей линейки (стержня)? Для повседневных целей достаточно будет взять железную или даже деревянную линейку, потому что здесь нет необходимости измерять длины с большой точностью. Но, если мы стремимся к большой точности, то сразу же увидим, что здесь мы встречаемся с трудностью, подобной той, с которой мы сталкивались в отношении периодичности.

Как вы помните, раньше перед нами стояла проблема — построить нашу единицу времени с помощью периодических процессов с равными периодами. Здесь мы сталкиваемся с аналогичной проблемой основания нашей единицы длины с помощью «твердого тела». Мы склонны думать, что мы нуждаемся в теле, которое всегда сохраняло точно ту же самую длину, так же как прежде мы нуждались в периодическом процессе с временными интервалами, которые были бы всегда одинаковыми. Очевидно, мы не хотим основывать нашу единицу длины на резиновой линейке или линейке, сделанной из воска, которые легко изменяют свою форму. Мы предполагаем, что мы нуждаемся в твердой линейке, которая не изменяла бы свою форму и размеры. Возможно что мы определим «твердость» следующим образом: линейка является твердой, если расстояние между двумя отметками, сделанными на ней, остается постоянным с течением времени.

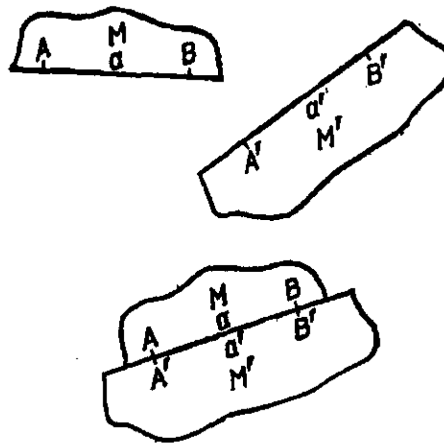


Рис. 9-5.

Но что точно мы понимаем под фразой «остается постоянным»? Для объяснения этого мы должны ввести понятие длины. Если бы мы не имели понятия длины и средств для ее измерения, то что бы означало утверждение, что расстояние между двумя точками на стержне фактически остается постоянным? И если мы не можем определить это, то как мы можем определить твердость? Мы, таким образом, попадаем здесь в ту же самую ловушку порочного круга, в которой мы очутились, когда искали способ распознавания сильно периодических процессов до того, как разработали систему измерения времени. Как еще раз мы можем избежать порочного круга?

Выход из него подобен тому способу, с помощью которого мы избежали порочного круга при измерении времени: использование относительных понятий вместо абсолютных. Мы можем без всякого логического круга определить понятие «относительной твердости» одного тела по отношению к другому. Возьмем одно тело M и другое M'. Ради простоты мы будем предполагать, что каждое из них имеет прямое ребро. Мы можем совместить эти ребра и сравнить точки, отмеченные на них (рис. 9-5).

Рассмотрим пару точек A, B на M, которые определяют отрезок a. Аналогичным образом на M' возьмем пару точек A' и B', которые определяют отрезок a'. Мы скажем, что отрезок a равен (конгруентен) отрезку a', если всякий раз, когда два ребра совмещаются друг с другом и точка A совпадает с точкой A', то точка B

совпадает с точкой B'. Такова наша операциональная процедура для определения того, что отрезки a и a' равны. Всякий раз, когда мы делаем такую проверку и находим, что соответствующие пары точек совпадают, мы заключаем, что при повторении эксперимента в любое время в будущем его результат, вероятно, будет тот же самый. Дополнительно к этому предположим, что *каждый* отрезок, отмеченный таким способом на M, будет равен соответствующему отрезку на M' в любое время, когда осуществляется проверка. Мы тогда скажем, что M и M' являются *твердыми относительно друг друга.*

Важно осознать, что никакого логического круга здесь не возникает. Мы не можем и не говорим об абсолютной твердости M. Мы не можем сказать, что M всегда сохраняет свою длину. Однако имеет смысл говорить, что два тела являются твердыми *в отношении друг к другу.* Если мы выберем M в качестве измеряющего стержня, то мы обнаружим, что отрезки, отмеченные на M', остаются постоянными по длине. Если в качестве измеряющего стрежня мы выберем M', то постоянными по длине остаются отрезки на M. То, что мы здесь имеем, — это понятие относительной твердости, твердости одного тела по отношению к другому.

Когда мы испытываем различные тела в мире, то мы находим, что многие из них не являются твердыми друг относительно друга. Рассмотрим, например, две моих руки. Я свожу их вместе так, что некоторые пары точек на кончиках моих пальцев совпадают. Затем я их свожу снова. Положение моих пальцев изменится. Те же самые пары точек больше уже не будут совпадать, поэтому я не могу сказать, что мои руки будут твердыми относительно друг друга. То же самое будет верно, если мы сравним два тела, сделанные из воска, или же одно тело из железа, а другое из мягкой резины. Они не являются твердыми друг относительно друга. Но так же, как мы находим, что в мире имеется обширный класс процессов, которые эквивалентны по своей периодичности, так и здесь мы сталкиваемся с другим счастливым случайным обстоятельством природы. Эмпирически мы находим, что имеется обширный класс тел, которые являются приблизительно твердыми друг относительно друга. Два любых тела из металла — железа, меди и т. п. — являются твердыми друг относительно друга. Такими же являются тела из камня и даже дерева, если они достаточно сухие и не покрыты зеленью. Мы находим, что огромное количество твердых веществ относится к тому роду, что тела, сделанные из этих веществ, являются твердыми друг относительно друга. Конечно, они не будут твердыми, если согнем их или заставим расширяться путем нагревания и т. п. Но если никакие ненормальные условия не накладываются, то эти тела в отношении их длин ведут себя весьма регулярным образом. Когда мы производим грубое сравнение одного тела с другим, мы находим их относительно твердыми.

Вы помните, что при обсуждении периодичности мы видели, что не существует никакого логического основания, заставляющего нас строить измерение времени на каком-либо одном периодическом процессе, принадлежащем к обширному классу эквивалентных процессов. Мы выбираем такой процесс только потому, что он приводит к большей простоте наших законов природы. Аналогичный выбор имеется и здесь. Нет никакой логической необходимости основывать измерение длины на одном определенном классе, взятом из обширного класса относительно твердых тел. Мы выбираем такие тела потому, что с ними более удобно иметь дело. Если бы мы выбрали в качестве единицы измерения стержень, сделанный из резины или воска, то мы бы могли найти в мире очень немного (если ни одного) тел, которые были бы относительно твердыми по нашему стандарту. Наше описание природы стало бы, таким образом, чрезвычайно сложным. Мы должны были бы тогда, например, говорить, что железные тела постоянно изменяют свою длину, потому что каждый раз, когда мы измеряем их нашей гибкой резиновой линейкой, мы получаем различные значения. Ни один ученый, конечно, не захочет обременять себя изобретением сложных физических законов, чтобы описать такие явления. С другой стороны, если мы выберем в качестве единицы длины металлическую полоску, то мы обнаружим в мире очень большое число твердых тел, когда они измеряются этой единицей. Благодаря этому в наше описание мира вводятся бóльшая регулярность и простота.

Эта регулярность возникает, конечно, из природы действительного мира. Мы могли бы жить в мире, в котором железные тела были бы твердыми друг относительно друга, а медные тела, в свою очередь, были бы твердыми относительно друг друга, но железные тела были бы нетвердыми по отношению к медным. Здесь не существует никакого логического противоречия. Это один из возможных миров. Если бы мы жили в таком мире и обнаружили, что он содержит много железа и меди, то какой из этих металлов мы бы выбрали в качестве подходящей основы для измерения? Каждый выбор имел бы определенные недостатки. Если же другие металлы подобным же образом, так сказать, не соответствовали друг другу, то такой выбор было бы сделать гораздо трудней. К счастью, мы живем в мире, где это не имеет места. Все металлы являются твердыми друг относительно друга. Таким образом, мы можем взять любой из них в качестве нашего стандарта. Когда мы это сделаем, мы обнаружим, что другие металлические тела являются твердыми.

Вот почему, очевидно, желательно пользоваться при измерении длины скорее металлическим, чем резиновым стержнем, а при измерении времени — скорее маятником, чем биениями пульса. Мы склонны забывать, что имеется конвенциональный элемент в нашем выборе стандарта для измерения. Наличие этого элемента я подчеркивал в моей докторской диссертации о пространстве[1], а Рейхенбах позже отмечал в своей книге о пространстве и времени[2]. Выбор является условным (конвенциональным) в том смысле, что не существует никакого логического основания запретить нам выбрать в качестве стандарта резиновый стержень и биения пульса, но за это нам придется расплачиваться разработкой фантастически сложной физики, чтобы иметь дело с миром, в котором господствует иррегулярность. Это, конечно, вовсе не означает, что выбор является произвольным, что один выбор является таким же хорошим, как и другой. Существуют сильные практические основа-

---

[1] «Der Raum, Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre» (Jena, University of Jena, 1922); (Berlin, Verlag von Reuther & Reichard, 1922).

[2] Речь идет о книге Г. Рейхенбаха: «The Philosophy of Space and Time», New York, Dover, 1958. (Появился русский перевод: Г. Рейхенбах «Философия пространства и времени», М., УРСС, 2002). — *Прим. перев.*

ния, связанные с природой мира, для того, чтобы предпочесть стальной стержень и маятник.

Как только мы выберем стандарт для измерения, такой, как металлический стержень, мы сталкиваемся с другим выбором. Мы можем сказать, что длина данного конкретного стержня служит единицей измерения независимо от изменения его температуры, магнетизма и т. п., или же мы можем ввести поправочные коэффициенты, зависящие от таких изменений. Первый выбор, очевидно, дает более простые правила, но если мы сделаем его, то снова столкнемся со странными следствиями. Если стержень нагревается и затем используется для измерения, то мы обнаружим, что все другие тела в мире сократятся. Когда стержень охладится, остальной мир снова расширится. Мы будем вынуждены сформулировать всякого рода причудливые и сложные законы, но здесь не будет никакого логического противоречия. По этим основаниям мы можем говорить о возможном выборе.

Вторая процедура связана с введением поправочных коэффициентов. Вместо условия, что отрезок между двумя отметками будет рассматриваться как имеющий выбранную длину l_0 (скажем, 1 или 100), мы теперь будем заявлять, что он имеет нормальную длину l_0, только когда стержень имеет температуру T_0, которую мы выбираем в качестве «нормальной» температуры, в то время как при любой другой температуре T длина отрезка дается уравнением

$$l = l_0[1 + \beta(T - T_0)],$$

где β есть константа (называемая «коэффициентом теплового расширения»), которая характеризует вещество стержня. Подобные же поправки таким же путем вводятся для других условий, таких, как наличие магнитных полей, которые также могут повлиять на длину стержня. Физики предпочитают больше эту более сложную процедуру — введение поправочных коэффициентов — по тем же самым основаниям, по которым они выбирают металлический стержень вместо резинового — такой выбор приводит к значительному упрощению физических законов.

Глава 10

ПРОИЗВОДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК

Когда даются правила для измерения некоторых величин, подобных длине, интервалу времени и массе, тогда на основе этих «исходных» величин мы можем ввести другие путем определения. Такие величины называют «определяемыми» или «производными». Значение производных величин всегда может быть найдено косвенным путем, с помощью их определения, из значений исходных величин, входящих в это определение.

В некоторых случаях, однако, возможно построить инструмент, который будет измерять такую величину непосредственно. Например, плотность обычно рассматривается как производная величина, потому что ее измерение основывается на измерении таких исходных величин, как длина и масса. Мы непосредственно измеряем объем и массу тела и затем определяем его плотность как частное от деления массы на объем. Возможно, однако, измерить плотность жидкости непосредственно с помощью ареометра. Обычно он представляет собой стеклянный поплавок с длинной трубкой, подобной термометру. Трубка имеет проградуированную шкалу, которая указывает глубину, на которую погружается инструмент в испытуемую жидкость. Приближенная плотность жидкости определяется непосредственно по этой шкале.

Таким образом мы устанавливаем, что отличие между исходными и производными величинами не должно рассматриваться как фундаментальное. Это различие скорее основывается на практических процедурах, которые физик применяет для измерений.

Если тело не является однородным, то мы должны говорить о «средней плотности». Возникает искушение сказать, что плотность такого тела в любой данной точке должна рассматриваться как предел отношения массы к объему, но поскольку вещество дискретно, то понятие предела не может быть применено здесь. В других случаях производных величин предельный подход становится необходимым. Рассмотрим, например, тело, движущееся по своей траектории. В течение интервала времени Δt оно проходит путь длиною Δs. Мы определим теперь его «скорость», другую производную величину, как отношение $\Delta s/\Delta t$. Если, однако, скорость тела не постоянна, мы можем только сказать, что его «средняя скорость» в течение этого интервала времени равнялась $\Delta s/\Delta t$. Какова была скорость тела в некоторой временной точке, принадлежащей к указанному интервалу времени? На этот вопрос нельзя ответить посредством определения скорости как отношения пути ко времени. Мы должны ввести понятие предела этого отношения, когда временной интервал стремится к нулю. Иными словами, мы должны использовать то, что в дифференциальном исчислении называют производной. Вместо простого отношения $\Delta s/\Delta t$ мы имеем производную

$$\frac{ds}{dt} = \lim \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \text{для} \quad \Delta t \to 0.$$

Это называют «мгновенной скоростью» тела, потому что она выражает скорость в определенной точке времени скорее, чем среднюю скорость в этом интервале времени. Она является другим примером производной величины. Подобно понятию плотности, эта скорость также может быть измерена посредством некоторых инструментов. Например, спидометр автомашины дает возможность непосредственно измерить мгновенную скорость машины.

Понятие предела также используется для определения производной величины ускорения. Мы имеем скорость v и изменение этой скорости Δv, которое возникает от одного мгновения времени к другому. Если интервал времени равен Δt, а изменение скорости Δv, то ускорение, или темп изменения скорости, равно $\Delta v/\Delta t$. Здесь снова мы должны рассматривать это отношение как «среднее ускорение» в течение интервала времени Δt. Если мы хотим достичь большей точности и говорить о «мгновенном ускорении» в данной точке времени, то мы должны отказаться от отношения двух конечных значений и написать следующую производную:

$$\frac{dv}{dt} = \lim \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{для} \quad \Delta t \to 0.$$

Мгновенное ускорение есть, таким образом, то же самое, что и вторая производная s по t:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}.$$

Иногда физик может сказать, что плотность в некоторой точке физического тела представляет производную массы по объему, но это только приблизительный способ выражения. Его утверждения нельзя брать буквально потому, что, хотя пространство и время и являются (на сегодняшний день физики) непрерывными, распределение массы в теле не является таковым, по крайней мере на молекулярном и атомном уровнях. По этим основаниям мы не можем буквально говорить о плотности как производной. Она не является производной, между прочим, потому, что это предельное понятие может быть применено только к настоящим непрерывным величинам.

В физике существует много других производных величин. Чтобы ввести их, нет необходимости формулировать такие сложные правила, которые мы обсуждали раньше при введении исходных величин. Мы должны только определить, как значения производных величин могут быть вычислены с помощью исходных величин, которые могут быть измерены непосредственно.

Иногда возникает трудная проблема относительно как исходных, так и производных величин. Чтобы разъяснить ее, вообразим себе, что мы имеем две величины M_1 и M_2. Когда мы исследуем определение величины M_1 или правила, которые показывают нам, как ее измерить, мы находим, что сюда входит величина M_2. Когда мы обращаемся к определению или правилам для M_2, мы находим, что сюда входит M_1. На первый взгляд здесь создается впечатление логического круга, но его легко избежать путем применения того, что называют методом последовательного приближения.

Вы помните, что в предыдущей главе мы рассматривали уравнение, которое определяет длину измерительного стержня. В этом уравнении встречается поправочный коэффициент для теплового расширения. Другими словами, в совокупность правил для измерения длины входит температура. С другой стороны, вы помните, что в наших правилах для измерения температуры мы обращались к длине или, скорее, к объему определенной испытуемой жидкости, используемой в термометре, но объем, конечно, определяется с помощью длины. Поэтому кажется, что здесь мы имеем две величины — длину и температуру, каждая из которых зависит от другой при их определении. Кажется, что здесь имеет место порочный круг, но фактически его нет.

Один из выходов таков. Сначала мы вводим понятие длины, не рассматривая поправочный коэффициент для теплового расширения. Это понятие не будет давать нам осуществлять измерения с большой точностью, но оно будет достаточно подходящим в тех случаях, когда не требуется большой точности. Например, если для измерения используется железный стержень, тепловое расширение его при нормальных условиях настолько мало, что измерения будут оставаться достаточно точными. Это дает первое понятие, L_1, длины. Мы можем теперь использовать это понятие для построения термометра. С помощью железной измерительной линейки мы делаем отметки на трубке, содержащей нашу испытуемую жидкость. Так как мы можем построить эту шкалу с достаточной точностью, то мы достигаем достаточной точности, когда измеряем температуру по этой шкале. Таким способом мы вводим наше первое понятие температуры T_1. Теперь мы можем использовать T_1 для установления уточненного понятия длины L_2. Мы делаем это путем введения T_1 в правила для определения длины. Это уточненное понятие длины L_2 (исправленное за счет теплового расширения железного стержня) теперь пригодно для построения более точной шкалы для нашего термометра. Это, конечно, приводит к T_2, уточненному понятию температуры.

В случае длины и температуры только что описанная процедура будет уточнять оба понятия до такого пункта, в котором ошибки будут крайне незначительными. В других случаях может оказаться необходимым возвращаться к этому несколько раз, прежде чем последовательные уточнения приведут к измерениям, достаточно точным для наших целей. Мы должны допустить, что мы никогда не достигнем абсолютно совершенного метода измерения любого понятия. Мы можем, однако, сказать, что чем больше мы будем повторять эту процедуру — начиная с двух огрубленных понятий и уточняя каждое с помощью другого, — тем более точными станут наши измерения. Благодаря такой технике последовательных приближений мы избегаем того, что на первый взгляд кажется порочным кругом.

Теперь мы займемся вопросом, который много раз поднимался философами: могут ли измерения быть применены к каждому аспекту природы? Существуют ли такие стороны мира или даже некоторые виды явлений, которые в принципе неизмеримы? Например, некоторые философы могут допустить, что все то, что находится в физическом мире, является измеримым (хотя некоторые философы отрицают даже это), но они считают, что в духовном мире это не имеет места. Некоторые из них идут даже так далеко, что утверждают, что все то, что является духовным, неизмеримо.

Философ, который придерживается такой точки зрения, может рассуждать следующим образом: «Интенсивность чувства или боли или степень интенсивности, с которой я вспоминаю прошлые события, являются в принципе неизмеримыми. Я могу чувствовать, что моя память об одном событии является более сильной, чем о другом, но я не могу сказать, что первое из них имеет степень интенсивности, равную 17, а второе — 12,5. Измерение силы памяти является, таким образом, в принципе невозможным».

Чтобы высказать возражения против этой точки зрения, мы сначала рассмотрим физическую величину — вес. Вы поднимаете тяжелый камень, вы сравниваете его с другим камнем, значительно более легким.

Если вы исследуете оба камня, вы не придете к каким-либо числам или же не найдете каких-либо дискретных единиц, которые можно было бы сосчитать. Сами явления не содержат ничего численного, только ваши личные ощущения веса. Как мы видели в предшествующих главах, мы вводим, однако, численное понятие веса путем установления процедуры для его измерения. Именно *мы* приписываем числа природе. Сами явления обнаруживают только свойства, которые мы наблюдаем. Все численное, за исключением кардинальных чисел, которые могут быть соотнесены с дискретными объектами, вносится нами самими, когда мы устанавливаем процедуры для измерения.

Ответ на наш первоначальный философский вопрос, я полагаю, должен быть сформулирован следующим образом. Если в любой области явлений вы обнаружите достаточный порядок, чтобы можно было осуществлять сравнения и сказать, что в некотором отношении одна вещь больше или выше, чем другая, а эта последняя больше, чем нечто третье, то в принципе существует возможность измерения. Теперь вы должны приступить к установлению правил, посредством которых можно приписать числа явлениям наиболее целесообразным образом. Как мы видели, первый шаг состоит в нахождении сравнительных правил. Затем, если возможно, следует найти количественные правила. Когда мы приписываем числа явлениям, нет смысла спрашивать, являются ли они «правильными» числами. Мы просто устанавливаем правила, которые характеризуют, как должны быть приписаны числа. С этой точки зрения не существует ничего в принципе неизмеримого.

Даже в психологии мы фактически осуществляем измерения. Измерение ощущений было введено в девятнадцатом столетии. В связи с этим, возможно, читатель вспомнит закон Вебера — Фехнера в той области, которая впоследствии стала называться психофизикой. Ощущение, которое должно быть измерено, сначала соотносится с чем-то физическим. Затем устанавливаются правила, которые определяют степень интенсивности ощущения. Например, было осуществлено измерение чувства давления различных грузов на кожу или ощущения высоты или интенсивности звука, и т. п. Один из подходов к измерению высоты звука — мы здесь говорим об ощущении, а не о частоте звуковой волны — состоит в построении шкалы, основывающейся на единице, представляющей наименьшую разницу в высоте звука, которая может быть обнаружена. С.-С. Стивенс в одно время предложил другую процедуру, основанную на узнавании субъектом высоты звука, который он воспринимает точно в середине между двумя другими тонами. Таким образом, мы в состоянии самыми различными способами придумывать шкалы для измерения некоторых психологических величин. Следовательно, дело не в том, что в принципе невозможно применение количественного метода к психологическим явлениям.

В этом пункте мне бы хотелось сделать замечания о границах процедуры измерения. Конечно, не существует ни малейшего сомнения в том, что измерение представляет одну из основных процедур науки, но в то же время мы должны позаботиться о том, чтобы не переоценить сферу его действия. Характеристика процедуры измерения не всегда дает нам полное значение понятия. Чем больше мы изучаем развивающуюся науку, в особенности такую быстро развивающуюся ее отрасль, как физика, тем больше мы начинаем осознавать тот факт, что полное значение понятия не может быть раскрыто с помощью одной измерительной процедуры. Это верно даже для простейших понятий.

В качестве примера рассмотрим длину. Процедура измерения длины твердым стержнем может быть применена только в пределах определенной промежуточной области значений, которые не являются слишком большими или слишком маленькими. Она может быть применена к таким небольшим длинам, как миллиметр или его доли, но не тысячная часть миллиметра. Весьма малые длины не могут быть измерены таким способом. Мы не можем также применить измеряющий стержень для определения расстояния от Земли до Луны. Даже расстояние от Соединенных Штатов Америки до Англии не может быть измерено посредством такой процедуры без предварительного сооружения моста отсюда до Англии. Конечно, мы продолжаем говорить о расстоянии между США и Англией, имея в виду расстояние, которое *могло* бы быть измерено измерительным стержнем, если бы поверхность земли между этими странами была твердой. Но эта поверхность нетвердая, поэтому даже здесь мы должны изобрести другую процедуру для измерения длины.

Одна из таких процедур состоит в следующем. Путем непосредственного измерения мы устанавливаем некоторое расстояние на земле, например между пунктами A и B (рис. 10-1). Основываясь на этой линии AB, как на базисе, мы можем определить расстояние от B до удаленного пункта C, не производя непосредственного измерения. С помощью угломерных инструментов мы измеряем два угла α и β. Теоремы физической геометрии позволят нам вычислить длину отрезка a, который представляет собой расстояние между B и C. Зная это расстояние и измерив углы δ и γ, мы можем вычислить расстояние от B даже до более удаленного пункта D. Таким образом, посредством процесса, называемого «триангуляцией», мы можем измерить обширную сеть расстояний и таким образом построить карту большой области.

Астрономы используют триангуляцию также для измерения расстояний от Земли до сравнительно близких звезд внутри нашей галактики. Конечно, земные расстояния являются слишком малыми, чтобы использовать их в качестве базисных отрезков, поэтому астрономы выбирают для этого расстояние от одной точки земной орбиты до противоположной. Этот метод не является достаточно точным для звезд, находящихся на очень больших расстояниях внутри нашей галактики или же для измерения расстояний до других галактик, но для измерения таких огромных расстояний могут быть использованы другие методы. Например, по спектру звезды может быть определена присущая ей яркость. Путем ее сравнения с яркостью этой звезды, наблюдаемой с Земли, может быть определено ее расстояние от Земли. Существует много способов измерения расстояний, которые не могут быть измерены непосредственно путем использования измеряющего стержня. Мы наблюдаем некоторые величины и затем на основе законов, связывающих эти величины с другими, приходим к косвенной оценке расстояний.

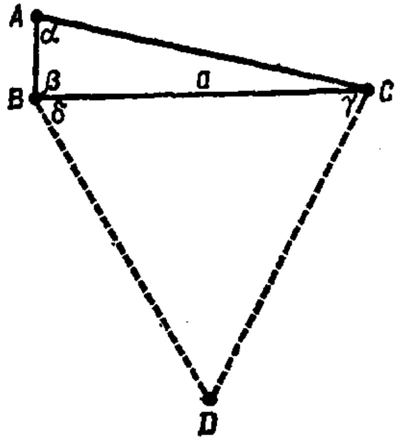


Рис. 10-1

В этом пункте возникает важный вопрос. Если существует множество различных способов измерения некоторой физической величины, такой, как длина, тогда не должны ли мы вместо одного понятия длины говорить о множестве различных понятий? Такое мнение было высказано физиком и философом науки П.-У. Бриджменом в его теперь ставшей классической книге «Логика современной физики» («The Logic of Modern Physics», 1927). Бриджмен склоняется к той точке зрения, что каждое количественное понятие должно быть определено путем тех правил, которые описывают процедуру его измерения. Иногда это называют «операциональным определением» понятия. Но если мы имеем множество различных операциональных определений длины, мы не *должны*, согласно Бриджмену, говорить об *определенном*[1], одном понятии длины. В противном случае мы должны отказаться от взгляда, что понятия определяются посредством явно установленной измерительной процедуры.

Моя точка зрения на этот вопрос такова. Я считаю, что лучше всего физические понятия рассматривать как теоретические понятия в процессе их последовательного уточнения, а не как понятия, полностью определяемые операциональными правилами. В повседневной жизни мы делаем различные наблюдения природы. Эти наблюдения мы описываем в качественных терминах, таких, как «длинный», «короткий», «горячий», «холодный», и в таких сравнительных терминах, как «длиннее», «короче», «горячее», «холоднее». Этот язык наблюдения связан с теоретическим языком посредством некоторых операциональных правил. В теоретический язык мы вводим количественные понятия, такие, как длина и масса, но мы не должны считать такие понятия определенными явным образом. Скорее операциональные правила вместе со *всеми постулатами* теоретической физики служат для того, чтобы дать частичные определения или, лучше, частичные интерпретации количественных понятий.

Мы знаем, что эти частичные интерпретации не являются окончательными, полными определениями, потому что физика постоянно пополняется новыми законами и операциональными правилами. Никакого конца этому процессу не видно — физика далека от законченного развития системы процедур, — поэтому мы должны допустить, что мы располагаем только частичными, неполными интерпретациями всех теоретических терминов.

Многие физики включают такие термины, как «длина», в словарь наблюдения потому, что они могут быть измерены посредством несложной, прямой процедуры. Я предпочитаю не разделять их таким образом. Верно, что в повседневном языке, когда мы говорим, что «длина этого ребра стола равна тридцати дюймам», мы упо-

---

[1] В подлиннике используется определенный артикль — «the». — *Прим. перев.*

требляем термин «длина» в том смысле, который может быть полностью определен с помощью простой измерительной процедуры. Но это только небольшая часть полного содержания понятия длины, которая применима лишь к некоторой промежуточной области значений, а именно к той области, где в качестве измерительной техники используются стержень или линейка. Но это значение неприменимо к расстоянию между двумя галактиками или между двумя молекулами. Тем не менее ясно, что в этих трех случаях мы имеем в виду одно понятие длины, которое частично определяется всей системой физики, включающей правила для всех операционных процедур, используемых для измерения длины.

То же верно и в отношении понятия массы. Если мы ограничим его содержание определением, относящимся к взвешиванию, мы можем применить этот термин только к небольшой промежуточной области значений. Мы не можем говорить о массе луны или молекулы или даже о массе горы или дома. Мы должны были бы тогда проводить различие между множеством различных величин, каждая со своим собственным операциональным определением. В тех случаях, когда для измерения масс могут быть применены два различных метода, мы должны были бы говорить, что две величины каким-то случайным образом имеют то же значение. Все это приводит, по моему мнению, к ненужной сложности языка. Мне кажется, самое лучшее — принять форму языка, который используется большинством физиков, и рассматривать длину, массу и т. п. скорее как теоретические понятия, чем как понятия наблюдения, определяемые явным образом посредством некоторых процедур измерения.

Такой подход связан с предпочтением в выборе эффективного языка. Не существует единственного способа построения языка науки. Имеются сотни различных путей. Я могу только сказать, что, по моему мнению, такой подход к количественным величинам имеет много преимуществ. Я не всегда придерживался этого взгляда. Одно время, в согласии с многими физиками, я рассматривал такие понятия, как длина и масса, в качестве «наблюдаемых» терминов в языке наблюдения. Но постепенно я все больше и больше стал склоняться к мысли расширить объем теоретического языка и включить в него такие термины.

Позже мы обсудим теоретические термины более подробно. Здесь я только хочу отметить, что, по моему мнению, различные процедуры измерения не должны пониматься как окончательные определения величин. Они представляют просто особые случаи того, что я называю «правилами соответствия» (correspondence rules). Они служат для связи терминов языка наблюдения с терминами теоретического языка.

Глава 11

ПРЕИМУЩЕСТВА КОЛИЧЕСТВЕННОГО МЕТОДА

Количественные понятия не даются самой природой; они возникают из нашей практики применения чисел к явлениям природы. Какие преимущества это дает? Если бы количественные понятия доставлялись самой природой, мы не задавали бы этот вопрос, как мы не спрашиваем, в чем состоят преимущества цвета. Природа может не иметь цветов, но приятно находить их в мире. Они просто существуют как часть природы. Мы не можем что-либо сделать с этим. В отношении к количественным понятиям ситуация совершенно другая. Они представляют часть нашего языка, а не часть природы. Именно *мы* вводим их; следовательно, законно спросить, *почему* мы это делаем. Почему мы соглашаемся на все хлопоты по изобретению сложных правил и постулатов, чтобы иметь величины, которые могут быть измерены по численной шкале?

Все мы знаем этот ответ. Много раз говорилось о том, что огромный прогресс науки, особенно в последние несколько столетий, был бы невозможен без использования количественного метода. (Впервые точным образом он был введен Галилеем. Конечно, другие ученые использовали этот метод раньше, но он первый сформулировал ясные правила метода.) Всюду, где это возможно, физик пытается ввести количественные понятия. В последние десятилетия по этому же пути следуют другие области науки. Мы не сомневаемся в том, что это представляет преимущество, но хорошо знать в подробностях, в чем это преимущество состоит.

Прежде всего — хотя это представляет небольшое преимущество — имеется увеличение эффективности нашего словаря. До введения количественных понятий мы должны были использовать множество различных качественных терминов или прилагательных, чтобы описать различные возможные состояния тела относительно данной величины. Например, не имея понятия температуры, мы должны были бы говорить о чем-то как об «очень горячем», «горячем», «теплом», «тепловатом», «прохладном», «холодном», «очень холодном» и т. п. Все это представляет собой то, что мы называем классификационными понятиями. Если бы мы имели несколько сот таких терминов, может быть, не было бы необходимости для повседневных целей вводить количественное понятие температуры. Вместо того чтобы говорить «сегодня 35 градусов», мы бы имели специальное прилагательное, которое обозначало бы эту температуру, а для 100 градусов — другое прилагательное и т. п.

Какие возражения имеются против этого? Прежде всего это чрезвычайно обременило бы нашу память. Мы бы не только должны были знать громадное число различных прилагательных, но также обязаны были бы помнить их порядок, поэтому мы непосредственно должны были бы знать, стоит ли некоторый термин выше или ниже другого по шкале. Но если мы введем единое понятие температуры, которое соотносит состояния тела с числами, тогда мы должны помнить только один термин. Порядок величин непосредственно обеспечивается порядком чисел. Верно, конечно, что мы должны предварительно запомнить числа, но, как только мы это сделаем, мы можем применить эти числа к любой количественной величине. В противном случае мы должны запомнить различное множество прилагательных для каждой величины и в каждом случае должны также помнить их особый порядок. Вот два второстепенных преимущества количественного метода.

Самое главное преимущество, как мы видели в предыдущих главах, состоит в том, что количественные понятия позволяют нам формулировать количественные законы. Такие законы являются гораздо более эффективными как для объяснения существующих явлений, так и для предсказания новых явлений. Даже с обогащенным качественным языком, в котором наша память была бы обременена сотнями прилагательных, выражающих свойства, мы бы встретились с огромными трудностями даже при выражении простейших законов.

Предположим, например, что мы имеем экспериментальную ситуацию, в которой мы наблюдаем, как некоторая величина M зависит от другой величины P. Мы изобразим это отношение в виде кривой, показанной на рис. 11-1. На горизонтальной прямой графика величина M принимает значения x_1, x_2, ... Для этих значений M величина P принимает значения y_1, y_2 ... После нанесения на график точек, соответствующих этим значениям, мы пытаемся подобрать плавную кривую, проходящую через эти точки. Возможно, что для этого подойдет прямая линия. В этом случае мы скажем, что M

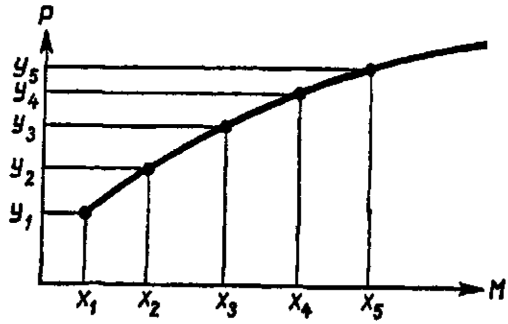


Рис. 11-1.

представляет линейную функцию от P. Мы выразим это так: $P = aM + b$, где a и b являются параметрами, которые остаются постоянными в данной ситуации. Если точки подойдут под кривую второго порядка, мы будем иметь квадратичную функцию. Возможно, что M будет логарифмом P или же более сложной функцией, которая должна выражаться в терминах различных простых функций. После того, как мы остановимся на наиболее вероятной функции, мы проверим путем повторных наблюдений, нашли ли мы функцию, которая представляет универсальный закон, связывающий две величины.

Что случилось бы в этой ситуации, если бы мы не имели количественного языка? Предположим, что мы имеем качественный язык, более богатый, чем современный английский язык. В нашем языке мы бы не имели такого слова, как «температура», но имели бы для каждого свойства примерно пятьдесят прилагательных, которые все были бы точно упорядочены. Наше первое наблюдение не было бы $M = x_1$. Вместо этого мы должны были бы сказать, что предмет, который мы наблюдаем, является________, используя здесь одно из пятидесяти прилагательных, которые относятся к M. А вместо $P = y_1$ мы имели бы другое предложение, в котором использовали бы одно из пятидесяти прилагательных, относящихся к свойству P. Строго говоря, два прилагательных будут соответствовать не точкам на осях нашего графика — мы не имеем возможности ввести такое количество прилагательных, которое бы соответствовало *всем* точкам на линии, — но, скорее, интервалам на каждой линии. Одно прилагательное, например, будет относиться к интервалу, который содержит x_1. Пятьдесят интервалов вдоль оси M, соответствующих пятидесяти прилагательным для M, будут иметь нечеткие границы, и они даже могут в некоторой мере перекрываться друг другом. В этом языке мы не смогли бы выразить простой закон, скажем, формы $P = a + bM + cM^2$. Мы должны были бы точно охарактеризовать, как каждое из наших пятидесяти прилагательных для M соответствовало бы одному из пятидесяти прилагательных для P.

Для большей конкретности предположим, что M относится к свойству теплоты, а P — к цвету. Закон, связывающий два эти свойства, будет состоять из совокупности пятидесяти условных предложений вида: «Если предмет является очень, очень, очень горячим (для выражения этого факта мы должны, конечно, иметь одно прилагательное), то он должен быть ярко-красным». Действительно, в английском языке мы имеем большое число прилагательных для обозначения цветов, но это почти единственная область свойств, где мы имеем так много прилагательных. По отношению к большинству величин в физике качественный язык крайне беден прилагательными. Таким образом, закон, выраженный в количественном языке, будет гораздо короче и проще, чем громоздкие выражения, которые потребуются, если мы попытаемся выразить тот же самый закон в качественных терминах. Вместо одного простого, компактного уравнения мы будем иметь множество предложений типа «если — тогда», в каждом из которых предикат одного класса соединяется с предикатом другого класса.

Наиболее важное преимущество количественных законов состоит, однако, не в их краткости, а, скорее, в той пользе, которую они могут принести. Как только мы будем иметь закон в численной форме, мы можем применить к нему ту мощную часть дедуктивной логики, которую мы называем математикой, и таким способом делать предсказания. Дедуктивная логика может, конечно, использоваться для вывода предсказаний также и в качественном языке. Так, мы можем вывести из посылки «это тело очень, очень, очень горячее» предсказание «это тело будет ярко-красным». Но эта процедура будет громоздкой по сравнению с сильными, эффективными методами дедукции, которые составляют часть математики. В этом состоит огромное преимущество количественного метода. Он позволяет нам выразить законы в виде математических функций, благодаря чему предсказания из них могут быть сделаны наиболее эффективным и точным способом.

Эти преимущества так велики, что никто сейчас не будет всерьез думать о предложении, чтобы физики отказались от количественного языка и возвратились к донаучному качественному языку. Однако в ранний период науки, когда Галилей вычислял скорости, с которыми скатывались шары по наклонной плоскости, и периоды маятника, имелось много людей, которые, вероятно, говорили: «Что хорошего все это дает? Как все это поможет нам в повседневной жизни? Я никогда не буду иметь дело с тем, что происходит с маленькими шарообразными телами, когда они падают по желобу. Верно, иногда, когда я вынимаю горошины из стручка, они скатываются по наклонному столу. Но какое значение имеет вычисление их *точного* ускорения? Какую практическую пользу может иметь такое знание?»

Сегодня никто не говорит таким образом, потому что все мы пользуемся множеством сложных инструментов — автомобилем, холодильником, телевизором, — которые, как мы знаем, были бы невозможны, если бы физика не разрабатывалась как количественная наука. У меня есть друг, который с самого начала придерживается той философской позиции, что разработка количественной науки была прискорбным явлением, потому что она привела к механизации жизни. Я на это отвечал, что, если он не желает противоречить себе, он никогда не должен пользоваться самолетом, автомобилем или телефоном. Отказ от количественной науки означал бы отказ от всех тех удобств, которые дает нам современная техника. Не много людей, я думаю, пожелают этого.

В этом пункте мы сталкиваемся с аналогичной, хотя и несколько отличной, критикой количественного метода. Действительно ли он помогает нам *понять* природу? Конечно, мы можем описывать явления в математических терминах, делать предсказания, изобретать сложные машины, но не существует ли лучшего способа проникновения в тайны природы? Такая критика количественного метода как низшего по сравнению с более непосредственным, интуитивным подходом к природе была предпринята величайшим немецким поэтом Гёте. Читатель, вероятно, знает его только как автора драм и поэм, но в действительности он много интересовался некоторыми отраслями науки, в частности биологией и теорией цветов. Он написал большую книгу по теории цветов и временами думал, что эта книга имеет более важное значение, чем все его поэтические произведения, вместе взятые.

Часть книги Гёте посвящена психологическим эффектам цветов. Она систематически изложена и действительно очень интересна. Гёте был очень тонок в восприятии своих ощущений и по этой причине мог квалифицированно судить о том, каким образом окружающие нас цвета влияют на наше настроение. Каждый архитектор, занимающийся отделкой внутренних помещений, знает эти эффекты. Значительное количество желтого и красного цвета в комнате действует стимулирующе. Зеленый и синий цвета дают успокаивающий эффект. Когда мы выбираем цвета для наших спален и жилых комнат, мы имеем в виду именно эти психологические эффекты. В своей книге Гёте разбирает также физическую теорию цветов. В ней имеется исторический раздел, в котором он обсуждает предшествующие теории цветов, в частности ньютоновскую теорию. Он в принципе не удовлетворен общим подходом Ньютона. Световые явления во всех их аспектах, утверждал Гёте, в особенности цвета, должны наблюдаться только при наиболее естественных условиях. Его работа в биологии привела его к заключению, что, если вы хотите обнаружить реальный характер дуба или лисицы, вы должны наблюдать дуб или лисицу в их естественной среде. Гёте переносит это понятие в физику. Грозу лучше всего наблюдать, выйдя во время грозы из комнаты и наблюдая небо. Так же обстоит дело со светом и цветами. Они

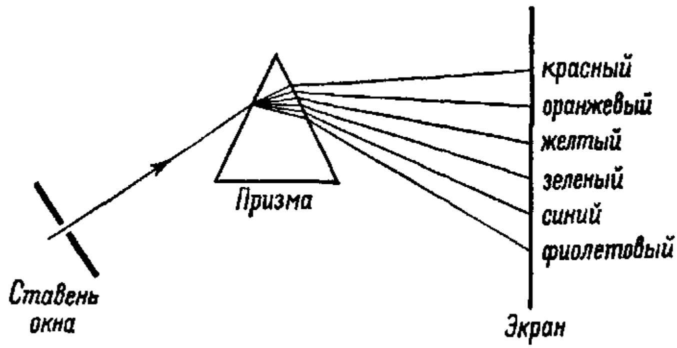


Рис. 11-2.

должны наблюдаться так, как встречаются в природе, — путь светового луча, проходящего через облака, изменение цвета неба, когда заходит солнце. Путем таких наблюдений Гёте обнаружил некоторые закономерности. Но когда он читал в известной книге Ньютона «Оптика» утверждение о том, что белый свет представляет соединение всех спектральных цветов, он очень сердился.

Почему он сердился? Потому что Ньютон не производил своих наблюдений над светом при естественных условиях. Вместо этого он осуществил свой известный эксперимент с призмой, не выходя из комнаты. Он затемнил лабораторию и сделал тонкую щель в ставне окна (рис. 11-2), щель, пропускающую только узкий пучок света в темную комнату. Когда этот луч света проходил через призму, Ньютон заметил, что он отображается на экране в виде системы различных цветов, начиная от красного и кончая фиолетовым. Он назвал эту систему спектром. Измерив углы преломления, он пришел к выводу, что эти углы различны для разных цветов, наименьший — для красного и наибольший — для фиолетового. Это заставило его предположить, что сама призма не производит цветов, она просто отделяет цвета, которые содержатся в первоначальном луче солнечного света. Это предположение он подтвердил другими экспериментами.

Гёте выдвигал различные возражения против общего подхода Ньютона к физике, который иллюстрируется вышеуказанным экспериментом. Прежде всего, указывал он, чтобы пытаться понять природу, мы должны больше полагаться на непосредственные данные наших чувств, чем на теоретический анализ. Поскольку белый свет предстает перед нашими глазами как совершенно простой и бесцветный, мы должны принимать его именно таким, а не представлять его в виде объединения различных цветов. Гёте казалось также ошибочным наблюдать природные явления, такие, как луч света, при искусственных, экспериментальных условиях. Если вы хотите понять природу солнечного луча, вы не должны затемнять вашу комнату и затем наблюдать луч света через узкую щель. Вы должны выйти под открытое небо и созерцать все замечательные цветовые явления так, как они проявляются в их естественной обстановке. Наконец, он скептически относился к пользе количественного метода. Он допускал, что производить точные измерения углов, расстояний, скоростей, весов и т. п. и затем на основе результатов этих измерений делать математические вычисления, может быть, и полезно для технических целей. Но он серьезно сомневался, является ли это наилучшим подходом, если мы хотим действительно проникнуть в тайны природы.

Сегодня, конечно, мы знаем, что в споре между ньютоновским аналитическим, экспериментальным, количественным подходом и гётевским непосредственным, качественным, феноменологическим подходом первый одержал победу не только в физике, но в наши дни все больше и больше завоевывает другие области науки, включая социальные науки. Теперь очевидно, особенно в физике, что огромные успехи в последнем столетии были бы невозможны без использования количественных методов.

С другой стороны, мы не должны упускать из вида того огромного значения, которое может иметь интуитивный подход, подобный гётевскому, для открытия новых фактов и развития новых теорий, в особенности в относительно новых областях познания. Гётевский способ художественного воображения в сочетании с тщательными наблюдениями позволил ему открыть новые важные факты в области сравнительной морфологии растений и живых организмов. Некоторые из этих открытий впоследствии были признаны как шаг в направлении к эволюционной теории Дарвина. (Это было объяснено великим немецким физиком и физиологом Германом Гельмгольцем в 1853 году в его лекции о научных исследованиях Гёте. Гельмгольц очень высоко оценивает работы Гёте в биологии, но критикует его теорию цветов. В 1875 году в постскриптуме к лекции он указывает, что некоторые гипотезы Гёте со временем были подтверждены теорией Дарвина [1]).

Может быть, интересно упомянуть, что примерно в середине прошлого века философ Артур Шопенгауэр написал небольшой трактат о видении и цветах («Über das Sehen und die Farben»), в котором он придерживается позиции, что в историческом споре по этому вопросу Гёте был целиком прав, а Ньютон полностью оши-

---

[1] Труд Гёте «Теория цветов» («Die Farbenlehre) — большая работа из трех частей, опубликованная в Германии в 1810 году. Английский перевод I части Чарлза Истлейка вышел в Лондоне в 1840 году. Лекция Гельмгольца «О научных исследованиях Гёте» («On Goethe's Scientific Researches») впервые появилась в его «Популярных лекциях по научным предметам» («Popular Lectures on Scientific Subjects», First Series, New York, Longmans, Green, 1881) и была перепечатана в «Популярных научных лекциях» («Popular Scientific Lectures», New York, Dover, 1962). Сходная критика Гёте дается в речи Джона Тиндаля «Учение Гёте о цветах» («Goethe's Farbenlehre»), в его «Новых фрагментах» («New Fragments», New York, Appleton, 1892) и в лекции Вернера Гейзенберга в 1941 году «Учение Гёте и Ньютона о цветах в свете современной физики («The Teachings of Goethe and Newton on Colour in the Light of Modern Physics), в «Философских проблемах ядерной науки» («Philosophic Problems of Nuclear Science», London, Faber & Faber, 1952). (Русск. перев. «Учение Гёте и Ньютона о цвете и современная физика», в кн.: В. Гейзенберг, Философские проблемы атомной физики, М., 1953, стр. 54—71. — *Прим. перев.*)

бался. Шопенгауэр не только отвергает применение математики в естественных науках, но и саму технику математических доказательств. Он называет такие доказательства «мышеловками», приводя в качестве примера доказательство известной теоремы Пифагора. Это доказательство, утверждает *он, является точным; никто не* может возразить вам и сказать, что оно ложно. Но оно представляет совершенно искусственный способ рассуждения. Каждый шаг его является, конечно, убедительным, однако к концу доказательства у вас возникает чувство, что вы попали в мышеловку. Математик вынуждает вас допустить истинность теоремы, но вы не получаете никакого реального понимания. Это все равно, как если бы вас провели через лабиринт. Вы вдруг выходите из лабиринта и говорите себе: «Да, я здесь, но я не знаю, как здесь очутился». Нечто подобное существует с этой точки зрения и при обучении математике. Мы должны обращать большее внимание на интуитивное понимание того, что мы делаем на каждом шагу доказательства, и почему мы предпринимаем именно эти шаги. Но все это между прочим.

Чтобы дать ясный ответ на вопрос, теряем ли мы нечто, как думают некоторые философы, когда описываем мир с помощью чисел, мы должны четко различать две языковые ситуации: язык, который действительно не включает некоторых свойств описываемых предметов, и язык, который только *кажется* не включает их, тогда как на самом деле содержит их. Я убежден, что значительная путаница в умах этих философов происходит из-за того, что они не проводят такого различия.

Термин «язык» употребляется здесь в широком, необычном смысле. Он применяется к любому методу, с помощью которого передается информация о мире, — слову, картине, диаграмме и т. п. Рассмотрим язык, не включающий некоторых сторон предметов, которые он описывает. Вы рассматриваете в журнале черно-белую фотографию Манхэттена. Возможно, заголовок ее гласит: «Очертания Нью-Йорка, вид с запада». Эта картина передает на языке черно-белой фотографии информацию о Нью-Йорке. Вы что-то узнаете о размерах и формах зданий. Картина сходна с непосредственным зрительным впечатлением, которое вы могли бы получить, если бы стояли на месте установки камеры и обозревали Нью-Йорк. Вот почему, разумеется, вы понимаете картину. Она не является языком в обычном смысле слова. Она представляет язык в более общем смысле, поскольку она выражает информацию.

Однако фотографии недостает многого. Она не имеет измерения в глубину и ничего не говорит нам о цветах зданий. Это, конечно, не значит, что вы не можете сделать правильных выводов о глубине и цвете. Если вы видите черно-белую фотографию вишни, то вы предполагаете, вероятно, что вишня красная. Но это только умозаключение. Сама картина не передает цвета вишни.

Теперь обратимся к ситуации, в которой свойства только кажутся отсутствующими, на самом же деле язык содержит их. Когда вы впервые увидели музыкальную запись, возможно, будучи еще ребенком, вы могли спросить: «Что за странные вещи находятся здесь? Вот пять линий, которые пересекают всю страницу. Они покрыты черными точками, некоторые из них имеют хвостики».

Вам говорят: «Это музыка, это очень красивая мелодия».

Вы протестуете: «Но я не слышу никакой музыки».

Верно, конечно, что эта запись не выражает мелодии тем же самым путем, как, скажем, фонограф. Она не содержит ничего такого, что *можно было бы слышать*. Однако в другом смысле запись *передает* ритмы и продолжительность каждого тона. Она не выражает их способом, который был бы понятен ребенку. Даже взрослому мелодия может показаться сразу недоступной, пока он не сыграет ее на пианино или же не попросит кого-нибудь сыграть ее. И все же тоны мелодии, несомненно, неявно содержатся в записи. Конечно, для этого необходимы правила перевода, которые показывают, каким образом эта запись преобразуется в звуки. Но если такие правила известны, мы можем сказать, что тембры тонов — их ритм, продолжительность, даже интенсивность переходов — все дается в нотной записи. Искусный музыкант даже в состоянии изучить звуки и «слышать» мелодию в уме. Очевидно, что здесь мы имеем ситуацию, явно отличающуюся от ситуации с черно-белой фотографией. Фотография действительно не содержит цвета. Музыкальная запись, на первый взгляд, тоже не включает звуков, но фактически она подразумевает их.

В случае обычного языка мы так привыкаем к словам, что часто забываем, что они не являются естественными знаками. Когда вы слышите слово «синий», вы непосредственно представляете синий цвет. Еще детьми мы привыкаем к *представлению*, что слова нашего языка, обозначающие цвет, действительно выражают этот цвет. С другой стороны, когда мы слышим утверждение физика, что имеется некоторое электромагнитное колебание определенной интенсивности и частоты, мы не можем непосредственно представить цвет, который он описывает. Однако, если вы знаете правила перевода, вы можете определить этот цвет так же точно, может быть, даже точнее, чем когда вы слышите слово, обозначающее цвет. Если вы имели дело со спектроскопом, вы наизусть знаете, какой цвет какой частоте соответствует. В таком случае утверждение физика может непосредственно сообщить вам, что он говорит, например, о сине-зеленом цвете.

Правила перевода могут быть сформулированы различным образом. Например, шкала частот видимого спектра может быть нанесена на диаграмму, в которой каждой частоте будет точно соответствовать слово, обозначающее цвет. Или вместо слов для обозначения цветов можно взять небольшие квадраты, содержащие действительные цвета. В любом случае, когда вы услышите количественное утверждение физика, с помощью правил перевода вы можете вывести, какой в точности цвет он описывает. Свойство, в данном случае цвета, совсем не теряется при методе его передачи. Ситуация здесь аналогична нотной записи: существуют правила для определения тех свойств, которые на первый взгляд не включаются в запись. Это не похоже на черно-белую фотографию, в которой действительно некоторые свойства упускаются.

Преимущества количественного языка так очевидны, что приходится удивляться, почему многие философы критикуют его использование в науке. В главе 12 мы обсудим некоторые причины такой курьезной позиции.

Глава 12

МАГИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД НА ЯЗЫК

У меня сложилось впечатление, что одна из причин, почему некоторые философы возражают против подчеркивания того, что наука устанавливает количественный язык, состоит в том, что наше психологическое отношение к словам донаучного языка — словам, которые мы выучиваем еще с детства, — совершенно отлично от отношения к тем сложным записям, с которыми мы сталкиваемся в языке физики. Вполне объяснимо, что дети могут верить, что некоторые слова действительно несут, так сказать, те свойства, к которым они относятся. Я не хочу быть несправедливым по отношению к некоторым философам, но я подозреваю, что они иногда делают ту же самую ошибку при восприятии научных слов и символов, которую всегда совершают дети.

В хорошо известной книге Огдена и Ричардса «Значение значения» («The Meaning of Meaning») [1] имеются отличные примеры (некоторые из них просто изумительны) того, что авторы называют «магией слова». Многие люди придерживаются магического взгляда на язык, взгляда, что существует некоторая мистическая естественная связь между некоторыми словами (только, конечно, словами, с которыми они знакомы!) и их значениями (meanings). В действительности же только благодаря исторической случайности в развитии нашей культуры слово «синий» стало обозначать определенный цвет. В немецком языке этот цвет называется «blau». В других языках с ним связываются другие звуки.

Для детей вполне естественно считать, что только одно определенное слово «синий», к которому они привыкают в родном языке, является подлинным словом, а все другие слова для обозначения синего цвета или совершенно ошибочны, или несколько странны. Когда они становятся старше, они могут стать более терпимыми и сказать: «Другие люди могут употреблять слово «blau», но они используют его для вещи, которая *в действитель-*

---

[1] C. K. Ogden and I. A. Richards, The Meaning of Meaning (London, Kegan Paul, Trench, Trubner, 1923); (8th rev. ed.; New York, Harcourt, Brace, 1946); (New York, Harvest Books, 1960).

ности синяя». Маленький ребенок считает, что дом есть дом, а роза есть роза, и это есть все, что существует для него. Затем он узнает, что незнакомые люди во Франции называют дом «maison». Почему они говорят «maison», когда они имеют в виду дом? Поскольку это *есть* дом, то почему они не называют его домом? Ему расскажут, что это обычай во Франции говорить «maison». Французы сотни лет говорят так. Ребенок не будет порицать их за это или считать бестолковыми. Ребенок, наконец, признает это. Незнакомые люди имеют странные привычки. Пусть они употребляют слово «maisons» для обозначения тех вещей, которые в действительности являются домами. Кажется, не только детям, но и многим взрослым трудно отказаться от такой терпимой позиции и выработать взгляд, что между словами и тем, что они означают, не имеется никакой существенной связи. Конечно, они никогда открыто не скажут, что английское слово является единственно правильным словом, а слова других языков ошибочны, но магический взгляд их детства неявно присутствует в их мышлении и часто в их замечаниях.

Огден и Ричардс цитируют английскую пословицу: «The Divine is rightly so called». Это, по-видимому, значит, что пророк действительно пророчествует. Следовательно, он правильно так называется. Хотя можно чувствовать, что какая-то вещь правильно так называется, пословица ничего фактически нам не говорит. Она, очевидно, не имеет смысла. Тем не менее часто люди с сильным эмоциональным чувством повторяют ее, действительно думая, что она выражает своего рода глубокое проникновение в природу пророка.

Несколько более сложные примеры магического взгляда на язык содержатся в книге Курта Рицлера «Физика и реальность»[1] («Physics and Reality: Lectures of Aristotle on Modern Physics at an International Congress of Science», 679 Olympiad, Cambridge, 1940, A. D.). Автор вообразил Аристотеля возвратившимся на землю в наше время и излагающим свою точку зрения (которая также представляет точку зрения Рицлера, хотя я

---

[1] Книга Курта Рицлера была опубликована в 1940 году Иельским университетом в Нью-Хевене, который дал разрешение привести цитаты из нее.

полагаю, что она есть только точка зрения последнего) относительно современной науки.

Аристотель начинает с высокой оценки современной науки. Он восхищен ее громадными достижениями. Затем он добавляет, что он должен, чтобы быть справедливым, сделать несколько критических замечаний. Эти замечания как раз и интересны для нас. На странице 70 книги Рицлера Аристотель собирательно говорит о физиках:

«День является холодным для негра и жарким для эскимоса. Вы разрешаете диспут тем, что отмечаете 50° на вашем термометре» [1].

Рицлер хочет сказать здесь, что в качественном языке повседневной жизни мы не имеем никакого соглашения относительно таких слов, как «жаркий» и «холодный». Если эскимос из Гренландии прибывает в пункт, где температура равна 50°, то он скажет: «Это довольно жаркий день». Негр из Африки в этом же месте будет говорить: «Это холодный день». Два человека не соглашаются о значении слов «жаркий» и «холодный». Рицлер представляет себе физика, говорящего им: «Забудьте ваши слова и говорите вместо этого в терминах температуры; тогда мы можем прийти к согласию. Мы согласны, что сегодня температура составляет 50°».

Продолжим цитату:

«Вы гордитесь тем, что нашли объективную истину путем элиминации...»

Я прошу читателя догадаться о том, что, по мнению Рицлера, элиминировали физики. Мы можем ожидать, что предложение будет продолжено так: «...путем элиминации слов «жаркий» и «холодный». Физик, конечно, элиминирует эти слова не откуда-нибудь, а из количественного языка физики. Но он все же хочет сохранить их в качественном языке повседневной жизни. Действительно, качественный язык необходим даже для физика, чтобы описать то, что он видит. Но Рицлер продолжает говорить не то, что мы ожидаем. Продолжим его утверждение:

«...путем элиминации как негра, так и эскимоса». Когда я впервые прочел это, я подумал, что он говорит

---

[1] Имеется в виду шкала Фаренгейта. По Цельсию эта температура равна 24,2°. — *Прим. перев.*

почти то же самое, но несколько отлично и что он имеет в виду то, что физик элиминирует способы выражения негра и эскимоса. Но это не так. Рицлер имеет в виду более существенное. Позже становится совершенно ясным, что, с его точки зрения, современная наука элиминировала человека, забывает и игнорирует наиболее важный предмет человеческого познания — самого человека.

«Вы гордитесь нахождением объективной истины посредством элиминации как негра, так и эскимоса. Я признаю важность того, что вы достигли. Согласен также, что вы бы не построили ваши чудесные машины без элиминации негра и эскимоса. А как насчет реальности и истинности?

Вы отождествляете истину с уверенностью. Но очевидно, что истина имеет отношение к бытию, или, если вы предпочитаете, к чему-то, называемому «реальностью». Истина может иметь высокую степень достоверности, какими являются, конечно, истины математики, и тем не менее низкую степень «реальности». Как насчет ваших 50°? Поскольку это истинно как для негра, так и эскимоса, вы называете это объективной реальностью. Эта ваша реальность мне кажется крайне бедной и тощей. Она представляет отношение, связывающее свойство, называемое температурой, с расширением ртути. Эта реальность не зависит ни от негра, ни от эскимоса. Она относится не к какому-либо конкретному лицу, а к анонимному наблюдателю».

Несколько дальше он пишет:

«Конечно, вы хорошо отдаете себе отчет в том, что теплота и холод в 50° имеют отношение к негру или эскимосу».

Я не совсем уверен в том, что он хочет сказать здесь. Возможно, он считает, что если бы негр или эскимос понимали, что означает «50°», тогда им следовало бы объяснить в терминах температуры слова «жаркий» и «холодный».

«Вы скажете, что система, подлежащая наблюдению, должна быть расширена, чтобы включить физические события, происходящие внутри негра или эскимоса».

Это означает предъявить к ответу физика требование: «А не упускаются ли ощущения тепла и холода, которые имеют эскимос и негр?» Рицлер, кажется, считает, что физик ответит нечто подобное следующему: «Нет, мы не упускаем эти ощущения. Мы описываем также самого негра, как и эскимоса, как организмы. Мы анализируем их как телесные системы, физиологические и физические. Мы находим, что происходит внутри них, и таким путем можем объяснить, почему они имеют различные ощущения, которые заставляют их описывать тот же самый день, как «жаркий» и «холодный».

Продолжим выдержку:

«Вы сталкиваетесь с двумя системами, в которых градиент температуры противоположен — холод в одной системе и тепло в другой. Однако здесь холод и тепло не являются уже настоящими холодом и теплом. Негр и эскимос представляются в вашей системе сложными физическими или химическими явлениями, они больше не являются уже существами самостоятельными; они являются тем, чем они представляются анонимному наблюдателю, — сложными случаями, описываемыми посредством отношений между измеримыми количествами. Я чувствую, что негр и эскимос в вашей системе представляются довольно ограниченно. Вы ищете ответ в огромных усложнениях, которые входят в такую систему».

Рицлер обращается здесь к человеку как системе. Единый организм, конечно, является в громадной степени сложным, когда вы пытаетесь анализировать его физически. Он продолжает:

«Нет, джентльмены, вы приписываете символы, но вы никогда не опишете холод как холод, а тепло как тепло».

Здесь обнаруживается наконец-то небольшое подозрение на магию слов! Физик приписывает искусственные символы, в действительности не выражающие ничего похожего на свойства. Это неудачный случай, потому что физик не в состоянии описывать холод как «холод». Название «холод» вызывает у нас действительные ощущения. Мы все будем дрожать, как только вообразим, как холодно было. Или выражение: «Вчера было ужасно жарко» — вызовет у нас действительное ощущение жары. Это является моей интерпретацией того, что говорит Рицлер. Если читатель захочет дать более благожелательную интерпретацию, он волен поступить так, как он пожелает.

Далее (на стр. 72) имеется другое интересное заявление рицлеровского Аристотеля:

«Возвратимся к моей позиции. Реальность есть реальность субстанций. Вы не знаете субстанций, которые обусловливают случай, что ваш термометр показывает 50°. Но вы знаете, что негр и эскимос похожи...»

Рицлер имеет в виду, что вы знаете, что негр и эскимос похожи, потому что они — люди. Вы — человек и поэтому имеете общие с ними ощущения.

«...Спрашивать их — значит спрашивать себя, спрашивать о собственной боли и радости, собственном действии и подвергнуться действию. Здесь вы знаете, что реальность означает. Это вещи конкретные. Вы знаете, что они *существуют*».

Действительная реальность, он чувствует, может быть постигнута только тогда, когда мы говорим о боли и радости, жаре и холоде. Как только мы перейдем к символам физики, температуре и ей подобным, реальность ослабевает. Это утверждение Рицлера. Я убежден, что оно не является суждением Аристотеля. Аристотель был одним из величайших людей в истории мышления. В свое время он был высшим авторитетом для науки. Он сам производил эмпирические наблюдения и эксперименты. Если бы он смог увидеть развитие науки от его дней до нашего времени, я уверен, он бы с энтузиазмом поддержал научный способ мышления и выражения. Действительно, он был бы, вероятно, одним из ведущих современных ученых. Я считаю, что Рицлер во многом необоснованно приписывает Аристотелю такие мнения.

Как я предполагаю, возможно, что Рицлер хотел только сказать, что наука не должна концентрировать все внимание исключительно на количественных понятиях, что она не должна игнорировать все те стороны природы, которые недостаточно точно подходят под формулы с математическими символами. Если это все, что он имел в виду, тогда, конечно, мы согласны с ним. Например, в области эстетики не было значительного прогресса в разработке количественных понятий. Но наперед всегда трудно сказать, где будет полезно ввести численные измерения. Мы должны оставить это специалистам в области конкретных наук. Если они найдут это полезным, они введут количественные понятия. Мы не должны отбивать охоту к таким усилиям, прежде чем они будут сделаны. Конечно, если язык используется для эстетических целей — не для научного исследования эстетики, а для выражения эстетического удовольствия, — тогда отпадает вопрос о количественном языке. Если мы хотим выразить наши чувства в письме к другу или в лирической поэме, тогда, естественно, мы выберем качественный язык. Мы нуждаемся в словах, которые так знакомы нам, что они непосредственно вызывают в памяти разнообразное множество значений и ассоциаций.

Верно также, что иногда ученый игнорирует важные аспекты даже тех явлений, над которыми он работает. Часто, однако, это связано только с разделением труда. Один биолог проводит свою работу целиком в лаборатории. Он исследует клетки под микроскопом, делает химические анализы и т. п. Другой — выходит на природу, наблюдает, как растут растения, при каких условиях птицы строят гнезда и т. п. Эти два человека имеют различные интересы, но знания, которые они приобретают разными путями, становятся составной частью науки. Никто не должен полагать, что другой делает бесполезную работу. Если намерением Рицлера было предостеречь нас, что наука должна позаботиться о том, чтобы не забывать некоторых вещей, тогда можно согласиться с ним. Но если он имеет в виду сказать, как он, кажется, говорит, что количественный язык науки в действительности упускает некоторые качества, тогда, я думаю, он ошибается.

Позвольте мне процитировать обзор книги Рицлера, сделанный Эрнстом Нагелем [1].

«Теории физики не могут заменить ни солнца, ни звезд, ни многосторонней деятельности конкретных вещей. Но почему кто-либо с достаточным основанием должен ожидать обогрева с помощью рассуждения?»

Вы видите, что Нагель истолковывает Рицлера даже менее благожелательным образом, чем попытался сделать я. Может быть, он и прав, но я в этом совсем не уверен. Нагель понимает Рицлера как критикующего язык физики за то, что он не выражает непосредственно, в более сильном смысле, такие свойства, как цвета, которые действительно содержатся в цветной картине,

[1] Journal of Philosophy, 37 (1940), p. 438—439.

Тем же самым путем мы могли бы выразить информацию о запахах путем разбрызгивания духов — скорее, создавая благоухание, чем называя их. Возможно, Рицлер имеет в виду — Нагель понимает его так, — что язык должен выражать свойства в этом сильном смысле, что он должен приносить нам свойства. Он, кажется, считает, что слово, подобное слову «холод», несет с собой некоторое действительное свойство холода. Такая точка зрения, конечно, представляет магический взгляд на язык.

Часть III

СТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВА

Глава 13

ПОСТУЛАТ ЕВКЛИДА О ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ

Природа геометрии в физике представляет тему, имеющую большое значение для философии науки, — тему, между прочим, к которой я питаю специальный интерес. Я написал по этому предмету свою докторскую диссертацию и, хотя с тех пор мало опубликовал на эту тему, над ней я продолжаю много думать.

Почему эта тема так важна? Прежде всего она приводит к анализу пространственно-временно́й системы, являющейся базисной структурой современной физики. Кроме того, математическая и физическая геометрии являются превосходными образцами двух фундаментально различных способов приобретения знания: априорного и эмпирического. Если мы ясно поймем отличие между этими геометриями, то мы получим ценное понимание важных методологических проблем теории познания.

Рассмотрим сначала природу математической геометрии. Мы знаем, конечно, что геометрия была одной из самых ранних математических систем, которые были разработаны. Мы мало знаем о ее происхождении. Изумительным является то обстоятельство, что уже ко времени Евклида она была так хорошо систематизирована. Аксиоматический характер евклидовой геометрии —

выведение теорем из фундаментальных аксиом и постулатов — сам по себе был замечательным научным вкладом, который все еще продолжает играть основную роль в большинстве современных способов представления математических систем в точной форме. Удивительно, что этой процедуре уже следовали во времена Евклида.

Одна из аксиом Евклида, аксиома о параллельных, причиняла много беспокойства математикам в течение многих столетий. Мы можем сформулировать эту аксиому следующим образом. На любой плоскости, на которой имеется прямая L и точка P вне этой прямой L, существует одна и только одна прямая L' на этой плоскости, проходящая через P и параллельная L. (Две прямые на плоскости называются параллельными, если они не имеют ни одной общей точки.)

Эта аксиома казалась столь очевидной, что вплоть до начала прошлого столетия никто не сомневался в ее истинности. Споры, которые происходили вокруг нее, касались не ее истинности, а того, является ли она необходимой в качестве *аксиомы*. Она казалась менее простой, чем другие аксиомы Евклида. Многие математики верили, что она может стать *теоремой*, которую можно будет вывести из других аксиом.

Были предприняты многочисленные попытки вывести аксиому о параллельных из других аксиом, и некоторые математики даже заявляли, что они добились здесь успеха. Мы знаем сегодня, что они ошибались. В то время не легко было увидеть ошибку в каждом из этих предполагаемых выводов, потому что они основывались — как это часто все еще делается в учебниках по геометрии для средней школы — на обращении к нашей интуиции. Мы делаем чертеж. По общему признанию, чертеж является неточным. Не существует никаких совершенных линий — линии, которые мы чертим, имеют толщину, потому что они проводятся на классной доске мелом или на бумаге чернилами, — но чертеж имеет целью воздействовать на наше воображение. Он помогает нам «видеть» истину, которую мы хотим доказать. Философия такого интуитивного подхода была наилучшим образом систематизирована Иммануилом Кантом. Интуиция является не нашим чувственным впечатлением от физического чертежа, а скорее нашим внутренним узрением геометрических конфигураций, которое не может быть ошибочным. Позиция Канта здесь совершенно ясна. Никогда нельзя быть уверенным в том, что два отрезка прямой на классной доске являются равными, или в том, что меловая линия, изображающая круг, представляет действительный круг. Кант рассматривает такие чертежи только в качестве вторичного психологического фактора, чтобы помочь нам. Но он считал, что наша сила воображения — то, что он называет Anschauung[1], интуиция, — является безошибочной. Если мы видим ясно геометрическую истину в уме, а не только нашими глазами, тогда мы видим ее с полной достоверностью.

Как мы постигаем, согласно Канту, утверждение, что две прямые не могут иметь больше одной общей точки? Мы представляем ситуацию мысленно. Вот две линии, которые пересекаются в одной точке. Могут ли они пересекаться где-то еще? Очевидно, не могут, потому что линии расходятся все больше и больше по мере того, как мы удаляемся от точки их пересечения. Кажется, таким образом, совершенно ясным, что две прямые либо имеют все точки общие (в таком случае они совпадают, чтобы образовать отдельную линию), либо они имеют самое большее одну общую точку, либо ни одной общей точки. Эти простые истины геометрии, считал Кант, мы *усматриваем* непосредственно. Мы постигаем их истинность интуитивно. Тот факт, что мы не должны опираться на чертежи, привел Канта к предположению, что мы можем иметь полное доверие к истинам, полученным таким интуитивным путем. Позже мы вернемся к этой точке зрения. Здесь же мы упоминаем о ней только потому, что хотим помочь читателю понять способ мышления ученых начала девятнадцатого столетия в геометрии. Даже если они никогда не читали Канта, они имели ту же самую точку зрения[2]. Здесь не имеет значения то обстоятельство, заимствовали ли они свою

---

[1] Созерцание (*нем.*). — *Прим. перев.*

[2] С таким подходом автора вряд ли можно согласиться, так как он игнорирует материалистический подход к аксиомам геометрии. Что же касается характеристики аксиом, как самоочевидных и простых утверждений, то эта традиция восходит еще к Аристотелю, а в дальнейшем развивалась в трудах Б. Паскаля, Р. Декарта и других ученых. Кант только попытался обосновать ее с позиций априорного синтеза. Подробнее см.: Г. И. Рузавин, О природе математического знания, М., 1968, стр. 92—93. — *Прим. перев.*

точку зрения у Канта или же она была только частью общей культурной атмосферы, которую в явном виде выразил Кант. Всякий допускал, что существуют ясные, простые и основные истины геометрии, не вызывающие никакого сомнения. Из этих простых истин, аксиом геометрии можно было шаг за шагом перейти к некоторым выводным истинам, теоремам.

Как мы уже указывали, некоторые математики верили, что они смогли вывести аксиому о параллельных из других аксиом Евклида. Почему так трудно было обнаружить ошибки в их доказательствах? Ответ на этот вопрос связан с тем фактом, что в то время не существовало достаточно сильной логики, которая давала бы строгие правила для геометрических доказательств. В некоторых местах вывода иногда незаметно допускалось обращение к интуиции, иногда это делалось совершенно явно, иногда скрытым путем. Метод для различения чисто логического вывода и вывода, вносящего нелогические компоненты, основанные на интуиции, стал известен только после систематической разработки логики во второй половине прошлого столетия. Тот факт, что эта новая логика была сформулирована символически, увеличивает ее эффективность, но эта черта не является абсолютно существенной. Существенным для новой логики было, во-первых, то, что правила умозаключений в ней могли быть установлены с полной точностью. Во-вторых, на протяжении всего вывода никакое утверждение не принималось, если оно не было получено из посылок или же из ранее полученных результатов путем применения к ним правил логических умозаключений.

До разработки современной логики никакая система существовавшей логики с совокупностью ее правил не была адекватна геометрии. Традиционная логика имела дело только с одноместными предикатами, но в геометрии мы изучаем отношения между многими элементами. Точка, лежащая на прямой, или прямая, лежащая на плоскости, представляют примеры двуместных отношений. Точка, лежащая между двумя другими точками, дает пример трехместного отношения. Мы можем рассматривать равенство двух отрезков как двуместное отношение, но, поскольку отрезки не берутся в качестве исходных объектов, отрезок лучше представить как пару точек. В таком случае равенство между двумя отрезками представляет отношение между двумя соответствующими парами точек. Иными словами, оно является четырехместным отношением между точками. Как вы видите, геометрия нуждается в логике отношений. Эта логика не существовала в то время, которое мы рассматриваем. Когда она была создана, логические ошибки в различных предполагаемых доказательствах аксиомы о параллельных были обнаружены. В каком-то пункте каждого такого рассуждения допускалось обращение к посылкам, которые основываются на интуиции и не могут быть выведены из других аксиом Евклида. Это могло бы быть интересным, если бы не тот факт, что скрытые, интуитивные посылки оказывались замаскированной формой самой аксиомы о параллельных.

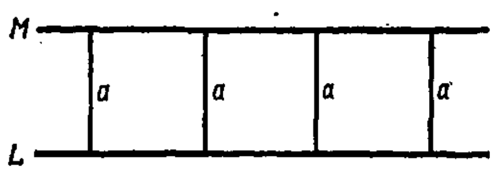


Рис. 13-1.

В качестве примера такой скрытой аксиомы, эквивалентной аксиоме о параллельных, может служить следующая: если на плоскости существует прямая линия L и кривая M, а все точки M находятся на том же самом расстоянии от L, тогда M также представляет прямую линию. Это показано на рис. 13-1, где a представляет постоянное расстояние от L всех точек M.

Эта аксиома, которая интуитивно кажется истинной, принималась иногда в качестве молчаливого предположения при доказательстве аксиомы о параллельных. Когда она предполагается, тогда аксиома о параллельных действительно может быть доказана. К несчастью, само это предположение не может быть доказано, если мы не будем исходить из истинности аксиомы о параллельных или некоторой другой аксиомы, эквивалентной ей.

Другая аксиома, эквивалентная аксиоме о параллельных, хотя, возможно, и не так интуитивно очевидна, как только что приведенная, есть предположение о том, что геометрические фигуры различных размеров могут быть подобными. Например, два треугольника будут подобными, если они имеют равные углы и пропорциональные стороны. На рис. 13-2 отношение $a:b$ равно отношению $a':b'$ и отношение $b:c$ равно отношению $b':c'$. Предположим, что я начерчу сначала меньший треугольник со сторонами a, b, c. Существует ли больший треугольник

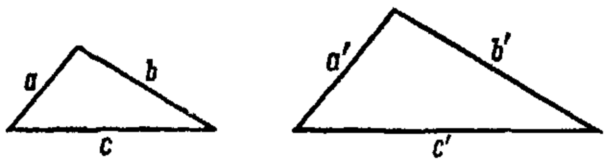


Рис. 13-2.

с теми же самыми углами и со сторонами a, b, c? Кажется очевидным, что ответ является положительным. Предположим, что мы хотим построить треугольник, стороны которого будут в точности вдвое больше сторон взятого треугольника. Мы можем это легко сделать, как показано на рис. 13-3.

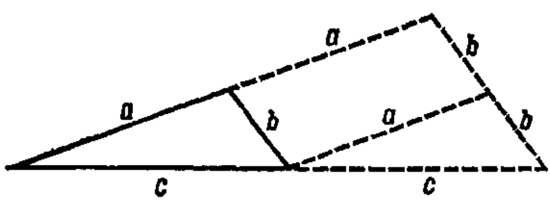


Рис. 13-3.

Мы просто продолжим стороны a и c на ту же самую длину, затем соединим их конечные точки. После некоторого размышления кажется совершенно ясным, что третья сторона должна иметь длину $2b$ и больший треугольник будет подобен меньшему. Если мы будем исходить из этой аксиомы о подобных треугольниках, то мы можем доказать аксиому о параллельных. Но снова мы в скрытой форме предполагаем аксиому о параллельных. Действительно, мы не можем доказать подобие двух треугольников без применения аксиомы о параллельных или другой аксиомы, ей эквивалентной. Таким образом, использование аксиомы о подобных треугольниках равносильно использованию аксиомы о параллельных, аксиомы, которую мы пытались доказать.

Но вплоть до девятнадцатого столетия строго логически не было доказано, что аксиома о параллельных независима от других аксиом Евклида. Она не может быть выведена из них. Отрицательные утверждения такого рода, устанавливающие невозможность осуществления чего-либо, обычно значительно труднее доказать, чем утверждения позитивные. То, что позитивное утверждение того или иного рода *может* быть выведено из некоторых посылок, доказывается просто путем показа логических шагов вывода. Но как можно доказать, что нечто *невыводимо?* Если вам после ста попыток не удалось вывести теорему, вы можете отказаться от дальнейших попыток, но это не служит доказательством невозможности. Может быть, кто-то каким-либо неожиданным окольным путем найдет вывод. Тем не менее, несмотря на эту трудность, формальное доказательство независимости аксиомы о параллельных было наконец получено.

Разработка следствий из этого доказательства представляет одно из наиболее волнующих открытий в математике девятнадцатого столетия. Если аксиома о параллельных независима от других аксиом Евклида, тогда без всякого противоречия с другими аксиомами она может быть заменена утверждением, с нею несовместимым. Путем испытания различных возможностей были созданы новые аксиоматические системы, названные неевклидовыми геометриями. Что следовало думать об этих странных новых системах, теоремы которых так противоречили интуиции? Должны ли они рассматриваться в качестве не более чем безобидной логической игры — игры, имеющей целью показать, как могут комбинироваться без противоречий различные утверждения? Или же они должны рассматриваться как возможно «истинные» в том смысле, что они могут быть применены к структуре самого пространства?

Последний случай казался настолько абсурдным в то время, что никто не помышлял об обсуждении этого вопроса. Фактически, когда несколько смелых математиков начали исследовать неевклидовы системы, они колебались, публиковать ли им свои результаты. Сейчас можно смеяться над этим и спрашивать, почему публикация какой-либо системы математики должна вызывать какие-то чувства. В настоящее время мы часто придерживаемся чисто формалистического взгляда на аксиоматическую систему. Мы не спрашиваем, какие интерпретации или применения она может иметь, но ограничиваемся только вопросом, является ли система аксиом логически непротиворечивой и возможно ли вывести некоторое утверждение из них. Однако позиция большинства математиков девятнадцатого столетия была не такова. Для них «точка» в геометрической системе означала место в реальном пространстве, а «прямая линия» — прямую в обычном смысле слова. Геометрия не рассматривалась как упражнение в логике; она ставила своей задачей исследование окружающего нас пространства, а не пространства в абстрактном смысле, которое математики имеют в виду сегодня, когда говорят о топологическом, метрическом, пятимерном пространствах и т. п.

Карл Фридрих Гаусс, один из величайших математиков, возможно самый великий математик девятнадцатого столетия, впервые, насколько известно, открыл непротиворечивую систему геометрии, в которой аксиома *параллельных* была заменена противоположным утверждением. Мы знаем это не из какой-либо его публикации, а только из письма, которое он написал другу. В этом письме он говорит об исследовании такой системы и выводе некоторых интересных теорем из нее. Он добавлял, что не заботится об опубликовании своих результатов, потому что «боится крика беотийцев». Читатель, возможно, знает, что в Древней Греции беотийцы — жители провинции Беотия — невысоко ценились афинянами. Мы можем перевести это выражение на современный язык так: «Эти невежды будут смеяться и скажут, что я сошел с ума». Под невеждами Гаусс подразумевает не необразованных людей, а некоторых профессоров математики и философии. Он знал, что они сочтут его сумасшедшим, если он всерьез будет говорить о неевклидовой геометрии.

Если мы откажемся от аксиомы о параллельных, то чем мы можем заменить ее? Ответ на этот вопрос, на один из наиболее важных вопросов в истории современной физики, будет подробно рассматриваться на протяжении 14—17 глав.

Глава 14

НЕЕВКЛИДОВЫ ГЕОМЕТРИИ

При исследовании аксиомы, которая берется вместо аксиомы о параллельных Евклида, можно двигаться в двух противоположных направлениях.

(1) Мы можем утверждать, что через точку, лежащую вне данной прямой на плоскости, к ней нельзя провести *ни одной* параллельной (Евклид считает, что существует только одна параллельная).

(2) Мы можем допустить, что существует *более одной* параллельной (оказывается, что если имеется более одной параллельной, тогда их будет бесчисленное множество).

Первое из этих отклонений от Евклида было исследовано немецким математиком Георгом Фридрихом Риманом, второе — русским математиком Николаем Лобачевским. В схеме на рис. 14-1 я расположил неевклидовы геометрии по обе стороны от евклидовой, чтобы подчеркнуть, как они отклоняются от евклидовой структуры в противоположных направлениях.

Геометрия Лобачевского была независимо и почти одновременно открыта Лобачевским, который опубликовал свою работу в 1835 году, и венгерским математиком Яношем Больяй, опубликовавшим свои результаты на три года раньше[1].

Геометрия Римана была открыта примерно двадцать лет спустя. Если вы хотите познакомиться с предметом неевклидовых геометрий ближе, то существует множество хороших книг на английском языке. Одна из них —«Неевклидовы геометрии» (Non-Euclidean Geometry»)

---

[1] Впервые с изложением основных идей новой неевклидовой геометрии Н. И. Лобачевский выступил еще 23 февраля 1826 года на заседании физико-математического отделения Казанского университета. Через три года, то есть в 1829 году, он опубликовал в «Казанском вестнике» статью «О началах геометрии», в которой продолжал дальше разрабатывать свои идеи. Наконец, в 1835 году в «Ученых записках Казанского университета» появляется его работа под названием «Воображаемая геометрия». Французский ее текст, переработанный Лобачевским, был опубликован в известном немецком математическом журнале в 1835 году. По-видимому, на эту работу и ориентируется Карнап. — *Прим. перев.*

итальянского математика Роберто Бонолы. В ней имеются статьи Больяй и Лобачевского, и поэтому интересно ознакомиться с ними в их оригинальной форме. Я считаю одной из лучших книг, в которых неевклидовы геометрии обсуждаются с принятой здесь точки зрения, а именно их значения для философии геометрии и пространства, книгу Ганса Рейхенбаха «Философия учения о пространстве и времени» («Philosophie der Raum-Zeit-Lehre»), которая впервые была опубликована в 1928 году, а теперь переведена на английский язык как «Философия пространства и времени» («The Philosophy of Space and Time»). Если вы интересуетесь историей

Тип геометрии	Число параллельных	Сумма углов треугольника	Отношение окружности к диаметру круга	Мера кривизны
Лобачевский	∞	$<180°$	$>\pi$	<0
Евклид	1	$180°$	π	0
Риман	0	$>180°$	$<\pi$	>0

Рис. 14-1.

вопроса, то можете обратиться к книге Макса Джеммера «Концепции пространства: История теорий о пространстве в физике» («Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics»). Иногда у Джеммера встречаются метафизические рассуждения. Я не уверен, однако, связаны ли они с его собственными взглядами или взглядами тех людей, которых он обсуждает. Во всяком случае, это одна из немногих книг, в которых подробно освещается историческое развитие философии пространства.

Рассмотрим подробнее две неевклидовы геометрии. В геометрии Лобачевского, которую на специальном языке называют гиперболической геометрией, имеется бесконечное множество параллельных. В римановой геометрии, известной как эллиптическая геометрия, параллельные отсутствуют вообще. Как возможна геометрия, которая не содержит параллельных? Мы можем понять это путем обращения к модели, которая хотя и не представляет точной модели эллиптической геометрии, но очень похожа на нее, — модели сферической геометрии. Эта модель является просто поверхностью сферы. Мы рассматриваем эту поверхность по аналогии с плоскостью. Прямые линии на плоскости здесь представлены большими кругами сферы. В более общих терминах мы можем сказать, что в любой неевклидовой геометрии линии, которые соответствуют прямым линиям евклидовой геометрии, представляют собой «геодезические линии». Они имеют с прямыми линиями то общее свойство, что образуют кратчайшее расстояние между данными

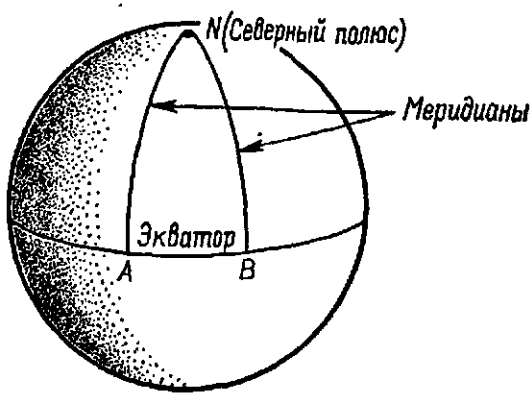


Рис. 14-2.

точками. На нашей модели — поверхности сферы — кратчайшее расстояние между двумя точками, или геодезическая линия, есть часть большого круга сферы. Большие круги представляют кривые, образуемые путем пересечения сферы плоскостью, проходящей через центр сферы. Знакомыми примерами являются экватор и меридианы Земли.

На рис. 14-2 меридианы начерчены перпендикулярно к экватору. В евклидовой геометрии мы предполагаем, что две прямые линии, перпендикулярные к данной, будут параллельными, но на сфере такие линии пересекаются на Северном и Южном полюсах. На сфере не существует никаких двух прямых, или, скорее, квазипрямых, линий, *то есть* больших кругов, которые бы не пересекались. Здесь перед нами легко вообразимая модель геометрии, в которой не существует никаких параллельных линий.

Две неевклидовы геометрии могут также различаться по сумме углов треугольника. Это различие важно с точки зрения эмпирических исследований структуры пространства. Гаусс был первым, кто ясно увидел, что только эмпирическое исследование пространства может раскрыть природу геометрии, которая наилучшим образом описывает это пространство[1]. Как только мы осознаем, что неевклидовы геометрии могут быть логически непротиворечивыми, мы больше не можем без эмпирической проверки говорить, какая геометрия осуществляется в природе. Вопреки кантианскому предубеждению, господствовавшему в свое время, Гаусс мог действительно предпринять эксперимент такого рода.

Легко видеть, что проверка треугольника значительно проще, чем параллельных линий. Линии будут считаться параллельными, если они не пересекаются, когда продолжаются на многие биллионы миль. Измерение же углов треугольника может быть осуществлено в небольшой области пространства. В евклидовой геометрии сумма углов любого треугольника равна двум прямым углам, или 180°. В гиперболической геометрии Лобачевского эта сумма меньше, чем 180°. В эллиптической геометрии Римана она больше, чем 180°.

Отклонение суммы углов треугольника от 180° в эллиптической геометрии легко понять с помощью нашей модели — поверхности сферы. Рассмотрим треугольник *NAB* на рис. 14-2. Он образован дугами двух меридианов и экватора. Два угла у экватора содержат по 90°. Добавление угла у Северного полюса делает сумму большей, чем 180°. Если мы передвинем меридианы, чтобы они пересекались друг с другом под прямым углом, тогда каждый угол треугольника будет прямым и сумма всех трех углов составит 270°.

Мы знаем, что Гаусс намеревался осуществить проверку суммы углов огромного звездного треугольника.

---

[1] Идею об эмпирической проверке существующих геометрических систем еще до Гаусса выдвигал Н. И. Лобачевский. В своей работе «Пангеометрия» он писал: «Принятое в обыкновенной геометрии явно или скрытно предположение, что сумма трех углов всякого прямолинейного треугольника постоянна, не есть необходимое следствие наших понятий о пространстве. Один опыт только может подтвердить истину этого предположения, например, измерение на самом деле трех углов прямолинейного треугольника...» — *Прим. перев.*

Существуют также сведения о том, что он действительно выполнил подобную проверку в земном масштабе посредством триангуляции трех горных вершин в Германии. Он был профессором в Геттингене, поэтому, говорят, выбрал гору вблизи города и две горные вершины, которые видны с этой горы. До этого он уже сделал важную работу по применению теории вероятности к ошибкам измерений, которую было удобно применить к таким процедурам. Первый шаг должен был состоять в том, чтобы оптически измерить углы из каждой вершины, повторив измерение несколько раз. Взяв средний результат при некоторых ограничениях, Гаусс мог определить наиболее вероятную величину каждого угла и, следовательно, наиболее вероятную величину их суммы. Из дисперсии этих результатов он мог потом вычислить вероятную ошибку, то есть некоторый интервал вокруг среднего значения, такой, что вероятность обнаружения истинного значения внутри этого интервала равна вероятности его обнаружения вне интервала.

Говорят, что Гаусс сделал это и обнаружил, что сумма углов треугольника в точности не равна 180°, но отличается на такую малую величину, которая лежит в интервале вероятной ошибки. Такой результат будет указывать на то, что пространство является евклидовым или же, если оно неевклидово, то отклонение от него крайне мало — *меньше, чем вероятная ошибка измерения*.

Даже если Гаусс в действительности не делал такой проверки, как указывают современные ученые, то сама легенда представляет краеугольный камень в истории научной методологии. Гаусс, конечно, первый задался революционным вопросом: что мы обнаружим, если осуществим эмпирическое исследование геометрической структуры пространства? Никто до него не думал о таких исследованиях. Действительно, это казалось таким же нелепым, как и попытка найти эмпирическим способом произведение 7 и 8. Предположим, что мы имеем семь сеток, каждая из которых содержит восемь шаров. Мы пересчитываем шары несколько раз и в большинстве случаев получаем 56, но случайно мы можем получить 57 или 55. Мы берем средний из этих результатов, чтобы найти истинное значение семи, умноженных на восемь.

Французский математик П. Е. Б. Журдэн однажды шутливо заметил, что наилучший способ для этого состоит в том, чтобы не считать самим, потому что мы не специалисты в счете. Такими специалистами являются официанты, которые постоянно прибавляют и умножают числа. Если собрать вместе наиболее опытных официантов и спросить, сколько будет семь раз восемь, то нельзя ожидать большого отклонения в их ответах. Но если вы предложите им умножить большие числа, скажем, 23 на 27, то тогда будет некоторая дисперсия в их ответах. Мы возьмем средний из этих ответов, «взвешенный» согласно числу официантов, давших ответ, и на этой основе получим научную оценку произведения 23 на 27.

Любая попытка эмпирически исследовать геометрические теоремы казалась абсурдной современникам Гаусса. Они рассматривали геометрию точно таким же образом, как и арифметику. Вместе с Кантом они верили, что наша интуиция не делает геометрических ошибок. Когда мы нечто «видим» в нашем воображении, оно не может быть иным. И то обстоятельство, что кто-то должен измерить углы треугольника — не только ради шутки или проверки качества оптического инструмента, а чтобы найти истинное значение их суммы, — кажется совершенно абсурдным. После некоторого знакомства с евклидовой геометрией каждый может увидеть, что эта сумма *должна* быть равна 180°. По этой причине Гаусс, говорят, не опубликовал результаты своих экспериментов и даже не отмечал ценности таких экспериментов вообще. Тем не менее в результате непрекращающихся размышлений о неевклидовых геометриях многие математики начали сознавать, что эти новые, странные геометрии ставят подлинно эмпирическую проблему. Сам Гаусс не нашел окончательного ответа, но он во многом содействовал антикантианскому рассмотрению всей проблемы структуры пространства в природе.

Чтобы более ясно увидеть, как разные неевклидовы геометрии отличаются друг от друга, рассмотрим снова поверхность сферы. Как мы видели, это удобная модель, которая помогает нам интуитивно понять геометрическую структуру плоскости в римановом пространстве.

(Риманово пространство здесь означает то, что называют эллиптическим пространством. Термин «риманово пространство» имеет также более общее значение, которое будет разъяснено позже.)

Мы должны позаботиться о том, чтобы не преувеличить аналогию между римановой плоскостью и поверхностью сферы, потому что любые две прямые линии на плоскости в римановом пространстве имеют только одну общую точку, в то время как линии на сфере, которые соответствуют прямым линиям — большие круги, — всегда пересекаются в *двух* точках. Рассмотрим, например, два меридиана. Они пересекаются на Северном и Южном полюсе. Строго говоря, наша модель будет соответствовать римановой плоскости только тогда, когда мы

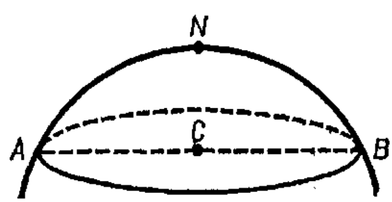


Рис. 14-3.

ограничимся частью поверхности сферы, которая не содержит точек, подобных Северному и Южному полюсу. Если нашей моделью будет вся сферическая поверхность, тогда мы должны допустить, что каждая точка римановой плоскости на сфере представляется парой противоположных точек. Передвижению от Северного полюса к Южному на Земле будет соответствовать передвижение по прямой от одной точки римановой плоскости и возвращение в ту же самую точку. Все геодезические линии в римановом пространстве имеют ту же самую конечную длину и являются замкнутыми подобно окружности круга. Вероятно, именно непривычность этого факта для нашей интуиции послужила причиной того, что геометрия такого рода была открыта позже, чем геометрия Лобачевского.

С помощью нашей сферической модели мы легко увидим, что в римановом пространстве отношение окружности круга к его диаметру всегда меньше π. На рис. 14-3 показан круг на земле, центром которого служит

Северный полюс. Он соответствует кругу в римановой плоскости.

Радиус такого круга не есть отрезок *CB*, потому что он не лежит на сферической поверхности, которая является нашей моделью. Таким радиусом служит дуга *NB*, а диаметром дуга *ANB*. Мы знаем, что окружность этого круга имеет отношение π к длине отрезка *ACB*. Поскольку дуга *ANB* длиннее, чем отрезок *ACB*, то ясно, что отношение периметра круга к *ANB* (диаметру круга в римановой плоскости) должно быть меньше π.

Не так легко усмотреть, что в пространстве Лобачевского отношение окружности круга к его диаметру должно быть больше π. Вероятно, визуально это можно представить с помощью другой модели. Эта модель (показанная на рис. 14-4) не может быть использована для

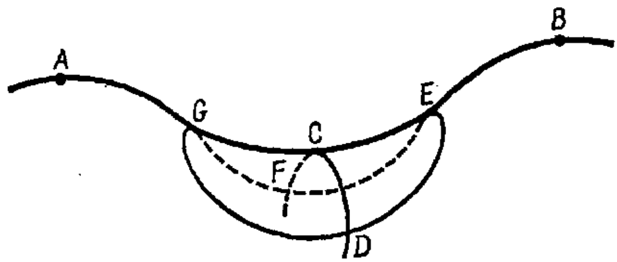


Рис. 14-4.

всей плоскости Лобачевского — и, конечно, для трехмерного пространства Лобачевского, — но она может быть применена для ограниченной части плоскости Лобачевского.

Эта модель является седловидной поверхностью, напоминающей переход между двумя горными вершинами. Попытаемся отчетливо представить себе эту поверхность. Существует кривая, возможно тропинка, проходящая через точку *F* на дальней стороне перехода, поднимающаяся к переходу через точку *C*, затем опускающаяся вниз на ближней стороне перехода через точку *D*. Седловидная часть этой поверхности, включающая точки *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, может рассматриваться как модель структуры плоскости Лобачевского.

Как образуется круг на этой модели? Предположим, что центр этого круга есть *C*. Если вы встанете у точки *D*, то вы очутитесь ниже центра круга. Если вы пройдете вдоль круга к E, то очутитесь выше центра. Нетрудно видеть, что волнистая линия, которая соответствует кругу в плоскости Лобачевского, должна быть длиннее, чем обычная окружность в евклидовой плоскости, которая имеет CD своим радиусом. Поскольку она длиннее, то отношение окружности этого круга к его диаметру (дуге FCD или дуге GCE) должно быть больше π. Более правильная модель, точно соответствующая всем измерениям части плоскости Лобачевского, может быть построена с помощью некоторой кривой, называемой трактрисой (дуга AB на рис. 14-5) и вращаемой вокруг оси CD. Поверхность, образуемую путем такого вращения, называют псевдосферой. Возможно, вы видели гипсовую модель этой поверхности. Если вы исследуете такую модель, то увидите, что треугольники на его поверхности

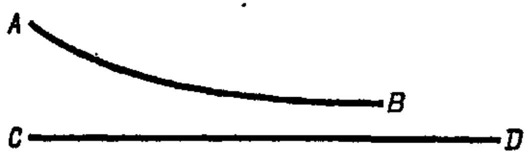


Рис. 14-5.

имеют сумму углов, меньшую 180°, а отношение окружности круга к диаметру будет превосходить π. Чем больше круг на такой поверхности, тем больше это отношение будет отклоняться от π. Мы не должны отсюда заключать, что π не является постоянным. π представляет отношение окружности круга к диаметру в евклидовой плоскости. Этот факт не меняется из-за существования неевклидовых геометрий, в которых отношение окружности круга к диаметру является переменной величиной, которая может быть больше или меньше π. Все поверхности, как евклидовы, так и неевклидовы, имеют в любой их точке меру, называемую «мерой кривизны» этой поверхности в данной точке. Геометрия Лобачевского характеризуется тем, что в любой точке плоскости мера кривизны плоскости отрицательна и постоянна. Существует бесчисленное множество различных геометрий Лобачевского, каждая из которых характеризуется некоторым фиксированным параметром — отрицательным числом, — то есть мерой кривизны плоскости в этой геометрии.

Вы можете возразить, заявив, что плоскость не может иметь кривизны. Но «кривизна» здесь является специальным термином и не должна пониматься в обычном смысле. В евклидовой геометрии мы измеряем кривизну линии в любой точке, взяв обратную ей величину — «радиус кривизны». «Радиус кривизны» означает здесь радиус некоторого круга, который совпадает, так сказать, с бесконечно малой частью линии в рассматриваемой точке. Если кривая линия почти совпадает с прямой, то радиус ее кривизны весьма велик. Если линия сильно искривлена, то радиус ее очень короткий.

Как мы измеряем кривизну поверхности в данной точке? Сначала мы измеряем кривизну двух геодезических линий, которые пересекаются в этой точке, и продолжаем их в двух направлениях, которые называем «главными направлениями» поверхности в данной точке. Одно направление дает максимальную кривизну геодезической линии в этой точке, другое — минимальную кривизну. Затем мы определяем кривизну поверхности в данной точке как произведение обратных величин двух радиусов кривизны геодезических линий. Рассмотрим, например, горный переход, показанный на рис. 14-4. Как мы измеряем кривизну этой поверхности в точке C? Мы видим, что одна из геодезических линий, дуга GCE, искривляется в виде впадины (если смотреть на поверхность сверху), в то время как геодезическая линия в правом углу, дуга FCD, искривляется в виде выпуклости. Эти две геодезические линии дают максимум и минимум кривизны поверхности в точке C. Конечно, если мы посмотрим на эту поверхность *снизу*, то дуга GCE покажется выпуклой, а дуга FCD — вогнутой. Вообще говоря, не имеет значения, с какой стороны мы смотрим на поверхность, какую кривую мы хотим рассматривать как выпуклую и какую как вогнутую. По соглашению мы назовем одну сторону положительной, а другую — отрицательной. Произведение обратных значений этих двух радиусов, $1/(R_1 \cdot R_2)$, дает нам меру кривизны седловидной поверхности в точке C. В любой точке седловидной поверхности один радиус кривизны будет положительным, другой — отрицательным и соответственно мера кривизны поверхности должна всегда оставаться отрицательной.

Это не относится к поверхности, которая полностью выпукла, как сфера или яйцо. На таких поверхностях две геодезические линии в двух главных направлениях искривляются одинаковым образом. Одна геодезическая линия может искривляться сильнее, чем другая, но обе искривляются одним и тем же способом.

Снова здесь не имеет значения тот факт, смотрим ли мы на такую поверхность с одной стороны и называем два радиуса кривизны положительными или же смотрим с другой стороны и называем эти радиусы отрицательными. Произведение их обратных значений будет всегда положительным. Таким образом, на любой выпуклой поверхности, такой, как сфера, *мера кривизны* в любой точке будет положительной.

Геометрия Лобачевского, модель которой представлена седловидной поверхностью, может быть охарактеризована следующим образом: для любого пространства Лобачевского имеется некоторое отрицательное значение, являющееся мерой кривизны в любой точке плоскости такого пространства. Геометрия Римана, представленная сферической поверхностью, может быть охарактеризована сходным путем: для любого риманова пространства имеется некоторое положительное значение, являющееся мерой кривизны для любой точки плоскости такого пространства. Оба пространства являются пространствами постоянной кривизны. Это значит, что для любого такого пространства мера кривизны в любой точке плоскости остается той же самой.

Пусть k будет мерой кривизны. В евклидовом пространстве, которое также имеет постоянную кривизну, $k = 0$. В пространстве Лобачевского $k < 0$, в римановом пространстве $k > 0$. Эти численные значения не определяются аксиомами геометрии. Разнообразные римановы пространства получаются путем выбора различных положительных значений для k, а пространства Лобачевского — соответственно путем выбора различных отрицательных значений для k. Кроме значений параметра k, все теоремы в различных пространствах Лобачевского, с одной стороны, и пространствах Римана, с другой, являются совершенно одинаковыми. Конечно, теоремы каждой геометрии весьма отличны друг от друга[1].

[1] Речь здесь идет об отличии теорем различных геометрий, например Лобачевского и Римана или Лобачевского и Евклида. — *Прим. перев.*

Важно осознать, что термин «кривизна» в его первоначальном и буквальном смысле применяется только к поверхностям *евклидовой модели* неевклидовой плоскости. Сфера и псевдосфера являются искривленными поверхностями именно в этом смысле Но термин «мера кривизны», который применяется к неевклидовым плоскостям, не означает, что эти две плоскости «искривлены» в точном смысле. Обобщение термина «кривизна» таким образом, чтобы его можно было бы применить и к неевклидовым плоскостям, является обоснованным, потому что внутренняя геометрическая структура римановой плоскости та же самая, что и структура поверхности евклидовой сферы. То же самое верно относительно структуры плоскости в пространстве Лобачевского и поверхности евклидовой псевдосферы. Ученые часто берут старые термины и придают им более общее значение. Это не вызывало никаких трудностей на протяжении девятнадцатого столетия, потому что неевклидовы геометрии изучались тогда только математиками. Тревога возникла тогда, когда Эйнштейн использовал неевклидовы геометрии в своей общей теории относительности. В результате этого они перестали быть только объектом чистой математики и вошли в область физики, где стали использоваться для описания действительного мира. Люди хотели понять, что сделал Эйнштейн, поэтому появились книги, в которых эти вещи объяснялись неспециалистам. В этих книгах авторы иногда обсуждали «искривленные плоскости» и «искривленные пространства». Это был крайне неудачный и вводящий в заблуждение способ выражения. Авторы должны были сказать: «Существует некоторая мера k — математики называют ее «мерой кривизны», но не обращайте никакого внимания на эту фразу — и это k положительно внутри Солнца, но отрицательно в солнечном гравитационном поле. По мере того как мы удаляемся от Солнца, отрицательное значение k стремится к нулю».

Вместо этого авторы популярных книг говорили о том, что будто бы Эйнштейн открыл, что плоскости в нашем пространстве являются искривленными. Это могло только сбить с толку неспециалиста. Читатели спрашивали, что имеется в виду, когда говорят, что плоскости искривлены. Если они искривлены, думали они, тогда они не должны называться плоскостями! Такие разговоры об искривленном пространстве склоняли людей к вере, что все в пространстве является искривленным или изогнутым. Иногда авторы книг по теории относительности говорили даже о том, как силы гравитации изгибают плоскости. Они описывали это с таким же реальным ощущением, как если бы это было аналогично тому, как кто-то изгибает металлический лист. Такой способ мышления приводит к странным последствиям, и некоторые авторы возражают против теории Эйнштейна именно на этом основании. Всего этого можно было бы избежать, если бы можно было избежать термина «кривизна».

С другой стороны, не так легко ввести новый термин, совершенно отличный от того, который обычно уже употребляется в математике. Наилучший выход состоит, таким образом, в том, чтобы сохранить термин «кривизна» в качестве специального термина, но ясно отдавать себе отчет в том, что он не должен связываться со старыми ассоциациями. Нельзя думать о неевклидовой плоскости как «изогнутой» в форму, которая больше уже не является плоскостью. Она не имеет внутренней структуры евклидовой плоскости, но представляет плоскость в том смысле, что структура одной ее стороны точно похожа на структуру другой стороны. Здесь представляется опасным говорить об евклидовой сфере как модели римановой плоскости, потому что если вы думаете о сфере, то представляете ее внутреннюю поверхность совершенно отличной от внешней. Изнутри ее поверхность выглядит вогнутой, извне — выпуклой. Это неверно по отношению к плоскости в пространстве Лобачевского и Римана. В обоих пространствах обе стороны плоскости являются совершенно одинаковыми. Если мы будем оставаться на одной стороне плоскости, то не заметим ничего отличного от того, что наблюдали на другой ее стороне. Но внутренняя структура плоскости такова, что мы можем с помощью параметра k измерить степень ее «кривизны». Мы должны помнить, что эта кривизна берется в специальном смысле, а это совсем не то же самое, как наше интуитивное понятие кривизны в евклидовом пространстве.

Другое терминологическое смешение, легко устранимое, касается двух значений (мы упоминали о них в начале главы) «римановой геометрии». Когда Риман сначала построил свою геометрию постоянной положительной кривизны, она была названа римановой, чтобы отличить ее от ранее введенного пространства Лобачевского, в котором постоянная кривизна отрицательна. Позднее Риман разработал обобщенную теорию пространств с изменяющейся кривизной — пространств, которые не рассматривались аксиоматически. (Аксиоматические формы неевклидовой геометрии, сохранявшей все евклидовы аксиомы, за исключением аксиомы о параллельных, которая заменялась новой аксиомой, ограничиваются пространствами постоянной кривизны.) В общей римановой теории может рассматриваться любое число измерений, и во всех случаях кривизна может меняться от точки к точке.

Когда физики говорят о «римановой геометрии», то они имеют в виду обобщенную геометрию, в которой прежние геометрии Римана и Лобачевского, называемые сейчас эллиптической и гиперболической геометриями, вместе с геометрией Евклида представляют простейшие частные случаи. Дополнительно к этим специальным случаям обобщенная риманова геометрия содержит огромное многообразие пространств с изменяющейся кривизной. Среди этих пространств находится и пространство Эйнштейна, принимаемое в его общей теории относительности.

Глава 15

ПУАНКАРЕ ПРОТИВ ЭЙНШТЕЙНА

Анри Пуанкаре, известный французский математик и физик, автор многих книг по философии науки, большинство которых было опубликовано до эпохи Эйнштейна, уделял много внимания проблеме геометрической структуры пространства. Одна из важных его идей настолько существенна для понимания современной физики, что будет небесполезно обсудить ее подробнее [1].

Предположим, писал Пуанкаре, что физики обнару-

[1] Наиболее ясно взгляд Пуанкаре на это изложен в его книге «Наука и гипотеза» («Science and Hypothesis», London, 1905; New York, Dover, 1952). (Русск. перев. с франц.: А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, Спб., 1906, а также позднее в опубликованной книге А. Пуанкаре «О науке», М., 1983. — *Прим. перев.*)

жат, что структура действительного пространства отклоняется от евклидовой геометрии. Тогда они могут выбирать между двумя возможностями. Они могут для описания физического пространства либо принять неевклидову геометрию, либо сохранить евклидову геометрию посредством добавления новых законов, устанавливающих, что все твердые тела подвергаются некоторым сокращениям и расширениям. Как мы видели в предыдущих главах, для производства точных измерений с помощью стального стержня мы должны вносить поправки, которые вызываются тепловым расширением или сжатием стержня. Подобным же образом, говорит Пуанкаре, если наблюдения свидетельствуют о том, что пространство является неевклидовым, физики могут сохранить евклидово пространство посредством введения в свои теории новых сил — сил, которые будут при специфических условиях растягивать или сжимать твердые тела.

Новые законы должны быть введены также в область оптики, потому что мы можем также изучать физическую геометрию посредством световых лучей. Такие лучи, по предположению, будут прямыми линиями. Читатель помнит, что три стороны гауссовского треугольника, образованного тремя горными вершинами, состоят не из твердых тел, ибо расстояния там были слишком велики, а из световых лучей. Предположим, говорит Пуанкаре, что мы обнаружили, что сумма углов такого большого треугольника отклоняется от 180°. Вместо того чтобы отказаться от евклидовой геометрии, мы можем сказать, что это отклонение вызвано искривлением световых лучей. Если мы введем новый закон для искривления световых лучей, мы можем всегда это сделать так, чтобы сохранить евклидову геометрию.

Это была крайне важная идея. Позже я попытаюсь объяснить, что именно Пуанкаре имел здесь в виду и как это может быть обосновано. Вдобавок к этой далеко идущей мысли Пуанкаре предсказывал, что физики всегда предпочтут второй путь. Они предпочтут, говорил он, сохранить евклидову геометрию, потому что она значительно проще неевклидовой. Он не знал, конечно, о сложном неевклидовом пространстве, которое вскоре предложил Эйнштейн. Вероятно, он думал только о более простых неевклидовых пространствах с постоянной кривизной. Иначе он, несомненно, счел бы мысль о сохранении физиками евклидовой геометрии *менее* вероятной. Пуанкаре казалось более обоснованным сделать некоторые изменения в законах, относящихся к твердым телам и световым лучам, с тем чтобы сохранить более простую систему Евклида. Ирония судьбы состояла в том, что именно несколько лет спустя, в 1915 году, Эйнштейн разработал свою общую теорию относительности, в которой была принята неевклидова геометрия.

Важно понять точку зрения Пуанкаре, ибо это поможет нам осознать причины, побудившие Эйнштейна отказаться от нее. Мы попытаемся разъяснить ее скорее интуитивным образом, чем с помощью вычислений и формул, так, чтобы мы могли отчетливо представить ее. Чтобы сделать это, мы используем схему, примененную великим немецким физиком Германом Гельмгольцем за несколько десятилетий до того времени, когда Пуанкаре выступил в печати по этому вопросу. Гельмгольц хотел показать, что Гаусс был прав, рассматривая геометрическую структуру пространства как эмпирическую проблему. Вообразим себе, говорит он, двухмерный мир, в котором двигаются двухмерные существа и всюду сталкиваются с предметами. Эти существа и все предметы в их мире будут совершенно плоскими, подобно двухмерным созданиям в изумительной фантазии Эдвина А. Аббота «Плоская страна». Они живут не на плоскости, а на поверхности сферы. Эта сфера имеет гигантские размеры в сравнении с собственными размерами плоских существ. По размерам они равны муравьям, а сфера огромна, как Земля. Она такая большая, что они никогда не могут обойти ее всю. Другими словами, их передвижения ограничиваются весьма небольшой областью поверхности сферы. Возникает вопрос: могут ли эти создания с помощью внутренних измерений их двухмерной поверхности обнаружить, находятся ли они на плоскости, или сфере, или некоторой другой поверхности?

Гельмгольц отвечает, что могут. Они могут сделать очень большой треугольник и измерить его углы. Если сумма его углов будет больше 180°, тогда они могут узнать, что находятся на поверхности с положительной кривизной. Если они обнаружат ту же самую кривизну в каждой точке их континента, тогда они будут знать, что находятся на поверхности сферы или части сферы. (Является ли эта сфера полной — это другой вопрос.) Гипотеза о том, что весь их мир является сферической поверхностью, будет разумной. Мы, конечно, можем взглянуть на такую поверхность, потому что мы являемся трехмерными существами, находящимися вне их мира. Но Гельмгольц ясно показал, что сами двухмерные существа путем измерения углов треугольника или отношения окружности к ее диаметру (или разных других количеств) могут измерить кривизну в каждой точке их поверхности. Гаусс, таким образом, был прав, считая, что он с помощью измерений может определить, имеет ли наше трехмерное пространство положительную или отрицательную кривизну. Если мы вообразим наше пространство включенным в универсум более высокого измерения, то мы можем говорить о реальном искривлении или кривизне нашего пространства, ибо оно будет казаться искривленным для четырехмерных существ.

Мы должны исследовать этот вопрос несколько подробней. Предположим, что двухмерные существа обнаружат, что когда они измеряют треугольники своими линейками, то в каждой точке их континента существует та же самая положительная кривизна для треугольников одинакового размера. Среди этих существ имеются два физика, P_1 и P_2. Физик P_1 принимает теорию T_1, которая говорит, что область, в которой живут он и его ближние, представляет часть сферической поверхности S_1. Его коллега, физик P_2, придерживается теории T_2, которая утверждает, что область является плоской поверхностью. На рис. 15-1 эти поверхности показаны в профиль. Предположим, что в S_1 имеются двухмерные твердые тела, такие, как сами существа, и измерительные линейки, которые можно передвигать без изменения размеров или формы. Для каждого тела в S_1 имеется соответствующее плоское тело в S_2, которое является его проекцией — проекцией, выполненной, скажем, параллельными линиями, перпендикулярными к плоскости S_2 (на рис. 15-1 эти параллельные линии изображены штрихами). Если в S_1 тело двигается от положения A_1 к A'_1, то его отображение в S_2 двигается от A_2 к A'_2. Мы предполагаем, что тела в S_1 являются твердыми. Таким образом, длина A_1

равна длине A'_1, но это значит, что длина A'_2 должна быть короче A_2.

Гельмгольц указывал, что когда мы измеряем что-либо линейкой, то фактически наблюдаем не что иное, как серию совпадений точек. Это легко можно усмотреть из прежнего описания измерения края ограды в начале главы 9.

Взглянем еще раз на рис. 15-1. Проекция S_1 на S_2 называется одно-однозначным отображением. (Этого нельзя было бы сделать, если бы S_1 была полной сферой, но мы предполагаем, что она представляет только ограниченную область сферы.) Для каждой точки на S_1 имеется точно одна соответствующая точка на S_2. Таким

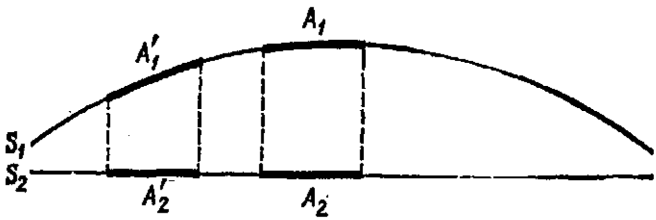


Рис. 15-1.

образом, когда существа будут двигаться по S_1, наблюдая точки совпадения между их линейками и тем, что они измеряют, отображения этих существ на S_2 сделают те же самые наблюдения на соответствующих отображаемых телах. Поскольку тела на S_1 предполагаются твердыми, то соответствующие тела на S_2 не могут быть твердыми. Они должны подвергнуться некоторым сокращениям и расширениям так, как мы показывали в иллюстрации.

Вернемся к двум физикам — P_1 и P_2, которые придерживаются различных теорий о природе их плоского мира. P_1 утверждает, что этот мир должен быть частью сферы. P_2 настаивает, что он является плоскостью, но тела будут расширяться и сжиматься некоторым предписанным способом, когда они будут двигаться. Например, они станут длиннее, когда будут двигаться к центральной части S_2, и короче, когда будут двигаться от центра к периферии. P_1 утверждает, что световые лучи представляют геодезические линии на искривленной поверхности S_1, то есть они будут распространяться по дугам больших кругов. Эти дуги будут проектироваться на S_2 в виде дуг эллипса. P_2, чтобы защитить свою теорию, что его мир является плоским, должен, таким образом, построить оптическую теорию, в которой световые лучи двигаются по эллиптической траектории.

Как могут два физика решить, кто из них прав? Ответ состоит в том, что не существует никакого способа для решения этого вопроса. Физик P_1 настаивает, что его мир представляет часть поверхности сферы и тела в нем не будут подвергаться сжатию и расширению, кроме, разумеется, таких знакомых явлений (или, скорее, двухмерных аналогов таких явлений), как тепловое расширение, упругое натяжение и т. п. Физик P_2 описывает тот же самый мир совершенно другим образом. Он считает его плоскостью, но тела на нем будут расширяться и сжиматься, когда будут двигаться по его поверхности. Мы, живущие в трехмерном пространстве, можем наблюдать этот двухмерный мир и увидеть, является ли он сферическим или плоским, но два упомянутых физика ограничены своим миром. Они в принципе не могут решить, какая теория будет точной. По этой причине, говорит Пуанкаре, мы не должны даже задавать вопрос, кто из них прав. Эти две теории представляют два различных метода описания того же самого мира.

Существует бесчисленное множество различных способов, с помощью которых физики на сфере могут описать мир, и, согласно Пуанкаре, вопрос целиком касается соглашения, какой из этих способов они выберут. Третий физик может придерживаться фантастической теории, что мир имеет следующую форму:

Он может защищать такую теорию путем введения еще более сложных законов механики и оптики, законов, которые сделают все наблюдения совместимыми с теорией. По практическим соображениям ни один физик на сфере не предложит такую теорию. Пуанкаре, однако, настаивал, что не существует никакого логического основания, чтобы не делать этого.

Мы можем вообразить двухмерный аналог утверждению Пуанкаре о спорящих физиках: «Не существует никакой необходимости в споре. Вы просто даете различные описания той же самой совокупности фактов». Как помнит читатель, еще ранее Лейбниц защищал сходную точку зрения. Если в принципе не существует никакого способа для решения того, какое из двух утверждений является правильным, то Лейбниц заявлял, что мы не должны говорить, что они имеют различные значения. Если бы все тела в мире в течение ночи удвоили свои размеры, то показался ли бы нам этот мир незнакомым на следующее утро? Лейбниц отвечает — нет. Размеры нашего собственного тела удвоились бы, поэтому не имелось бы никакого средства, с помощью которого мы могли бы обнаружить такие изменения. Подобно этому, если весь мир передвинется в сторону на десять миль, мы не сможем обнаружить это. Таким образом, утверждения о том, что такие изменения будут иметь место, оказываются бессмысленными. Пуанкаре воспринял этот взгляд Лейбница и применил его к геометрической структуре пространства. Мы можем найти экспериментальные свидетельства, подтверждающие неевклидову структуру физического пространства, но мы можем всегда сохранить более простое евклидово пространство, если заплатим за это соответствующую цену. Пуанкаре считал, что эта цена не будет слишком высокой.

В наших рассуждениях о плоском мире имеются два основных пункта, которые мы намеревались сделать ясными и которые мы применим к нашему реальному миру.

Прежде всего, используя обычные процедуры измерения, к которым мы привыкли, мы можем прийти к тому результату, что пространство имеет неевклидову структуру. Некоторые современные философы (как, например, Гуго Динглер) не были в состоянии понять это. Они считали, что при наших процедурах измерения мы применяем инструменты, которые были созданы при предположении, что геометрия является евклидовой. Поэтому эти инструменты не дают нам возможности получить что-либо, кроме евклидовых результатов. Такое утверждение, конечно, ошибочно. Наши инструменты занимают такую незначительную часть пространства, что вопрос об отклонении пространства от евклидовой геометрии не учитывается при их конструировании.

Рассмотрим, например, геодезический инструмент для измерения углов. Он содержит круг, разделенный на 360 равных частей, но этот круг так мал, что даже, если пространство отличается от евклидового в такой степени, которую Гаусс надеялся измерить (в значительно большей степени, чем в теории относительности), то и тогда это не повлияет на конструкцию круга. К небольшим областям пространства евклидова геометрия все еще будет подходить с очень высокой степенью приближения. Это обстоятельство иногда выражают путем утверждения, что неевклидово пространство имеет евклидову структуру в малых окрестностях. Со строго математической точки зрения здесь мы имеем дело с пределом. Чем меньше будет область пространства, тем ближе его структура приближается к евклидовой. Но наши лабораторные инструменты занимают такую незначительную часть пространства, что мы можем совершенно не рассматривать какое-либо влияние неевклидова пространства на конструкцию измерительных инструментов.

Даже если отклонение от евклидовой геометрии было бы так сильно, что сумма углов небольшого треугольника (скажем, начерченного на чертежной доске) значительно отличалась от 180°, то этот факт мог бы, конечно, быть установлен с помощью инструментов, изготовленных обычным способом. Предположим, что существа *на сферической поверхности* S_1 (см. рис. 15-1) построили угломер из круглого диска, окружность которого разделена на 360 равных частей Если этот угломер был бы использован для измерения углов треугольника, образованного (как в нашем прежнем примере) двумя половинами меридианов и четвертью экватора, то он бы показал, что каждый угол равен 90° и, следовательно, сумма трех углов составила бы 270°.

Вторая основная идея, которая вытекает из наших рассуждений о двухмерном мире, состоит в том, что если мы найдем эмпирические свидетельства в пользу неевклидовой структуры пространства, то мы можем сохранить евклидову геометрию при условии, что мы введем усложнения в законы, управляющие движением твердых тел и световых лучей. Когда мы смотрим на поверхности внутри нашего пространства, такие, как поверхности, по которым ползают муравьи, имеет смысл спросить, является ли поверхность плоскостью, или частью сферы, или поверхностью другого рода. С другой стороны, если мы имеем дело с пространством нашего мира, то это пространство мы не можем наблюдать как нечто включенное в пространство более высокого измерения, поэтому бессмысленно спрашивать, является ли пространство неевклидовым или должны ли быть наши законы изменены, чтобы сохранить евклидову геометрию. Две теории являются просто двумя описаниями тех же самых фактов. Мы можем назвать их эквивалентными описаниями, потому что делаем те же самые предсказания о наблюдаемых событиях в обеих теориях. Возможно, выражение «эквивалентны с точки зрения наблюдения» было бы более подходящей фразой. Теории могут значительно отличаться по их логической структуре, но, если их формулы и законы всегда приводят к одним и тем же предсказаниям наблюдаемых событий, тогда мы можем сказать, что они являются эквивалентными теориями.

В этом пункте мы должны ясно различать то, что *мы здесь понимаем под эквивалентными теориями* и что иногда понимают под этой фразой. Может случиться, что два физика предложат две различные теории для объяснения той же самой совокупности фактов.

Обе теории могут успешно объяснить эту совокупность фактов, но они могут быть неодинаковыми относительно наблюдений, которые еще не сделаны. Иначе говоря, они могут содержать различные предсказания о том, что может наблюдаться в какое-то будущее время. Даже и в том случае, когда две такие теории считаются всецело равнозначными для известных наблюдений, они должны рассматриваться как существенно отличные физические теории.

Иногда не так легко осуществить эксперимент, который бы показал, что две конкурирующие теории являются неравнозначными. Классическим примером являются теории тяготения Ньютона и Эйнштейна. Различия в предсказаниях этих двух теорий настолько малы, что, прежде чем решить, какая теория обеспечивает наилучшие предсказания, должен быть проведен искусный эксперимент и сделаны тщательные измерения. Когда

Эйнштейн позже предложил свою единую теорию поля, то заявил, что он не в состоянии придумать какой-либо решающий эксперимент в пользу этой или других теорий. Он объяснил, что его теория не эквивалентна какой-либо предшествующей теории, но она так абстрактна, что он не был в состоянии вывести какие-либо следствия, которые можно было наблюдать при нынешней точности наилучших наших инструментов. Он верил, что, если его обобщенная теория поля будет разрабатываться дальше или если наши инструменты будут достаточно усовершенствованы, тогда будет возможным сделать решающее наблюдение. Очень важно понять, что выражение «эквивалентные теории», как оно используется здесь, означает более сильное утверждение, чем констатация факта, что две теории объясняют все известные наблюдения. Эквивалентность здесь означает, что две теории во всех случаях приводят в точности к тем же самым предсказаниям, подобно теориям двух физиков в нашем примере с плоским миром.

В следующих двух главах мы подробнее покажем, как идея Пуанкаре об эквивалентности евклидовой и неевклидовой теорий пространства с точки зрения наблюдения ведет к более глубокому пониманию структуры пространства в теории относительности.

Глава 16

ПРОСТРАНСТВО В ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Согласно теории относительности, которая обсуждалась в предыдущих главах, пространство имеет структуру, которая в гравитационных полях отклоняется от евклидовой структуры. Если гравитационное поле не очень сильно, то это отклонение трудно заметить. Например, гравитационное поле земли так слабо, что даже с наилучшими инструментами невозможно обнаружить какое-либо отклонение пространства в ее окрестности от евклидовой структуры. Но когда рассматриваются более сильные гравитационные поля, такие, как поля, окружающие Солнце или звезды с гораздо большими массами, чем Солнце, тогда отклонение от евклидовой геометрии доступно экспериментальной проверке.

В популярных книгах, написанных о теории относительности, а также в других книгах, где обсуждается этот предмет, иногда встречаются утверждения, вводящие читателя в заблуждение. На одной странице может говориться о том, что теория Эйнштейна утверждает, что структура пространства в гравитационном поле является неевклидовой. А на другой странице или, возможно, даже на той же самой странице утверждается, что в гравитационном поле, согласно теории относительности, стержни сокращаются. (Имеется в виду не тот вид сокращения, иногда называемый сокращением Лоренца, которое связано с движущимися стержнями, но сокращение покоящихся стержней в гравитационном поле.)

Следует совершенно четко уяснить, что два этих утверждения не соответствуют друг другу. Нельзя сказать, что одно из них ложно. Автор может быть прав как на одной странице, так и на другой. Но эти утверждения не должны встречаться на двух страницах той же самой главы. Они принадлежат к различным языкам, и автор должен решить, хочет ли он говорить о теории относительности на том или другом языке. Если он хочет использовать евклидов язык, то будет совершенно правильным говорить о сокращении стержня в гравитационном поле. Но тогда он не может говорить о неевклидовой структуре пространства. С другой стороны, он может выбрать неевклидов язык, но тогда не может говорить о сокращениях тел. Чтобы говорить о гравитационном поле, законно использовать каждый из этих языков, но смешение языков в той же самой главе крайне запутывает читателя.

Следует напомнить, что в наших предыдущих рассуждениях о плоском мире мы представляли двух физиков, которые придерживались двух различных теорий о природе их мира. Впоследствии оказалось, что эти две теории в действительности были эквивалентными, отличающимися только тем, что они были двумя различными способами описания той же самой совокупности фактов. Таково же положение с теорией относительности. Одно описание, которое мы назовем T_1, является неевклидовым, другое, T_2, — евклидовым.

Если выбран неевклидов язык T_1, тогда законы механики и оптики остаются теми же самыми, как и в доэйнштейновской физике. Твердые тела остаются неизменными, исключая случаи некоторых деформаций, таких, как упругие растяжения и сжатия (когда внешние силы растягивают или сжимают их), тепловые расширения, изменения, вызванные намагничиванием, и т. п. Эти деформации знакомы из классической физики и должны учитываться при определении длины путем введения поправочных коэффициентов. Например, мы можем решить использовать некоторый стержень в качестве единицы длины Поскольку известно, что стержень расширяется, когда он нагревается, то стандартной единицей длины он будет считаться только при некоторой «нормальной» температуре T_0. Конечно, в любое данное время стержень может иметь другую температуру T, которая отличается от T_0. Следовательно, чтобы определить длину стандартного стержня при температуре T, нормальная длина стержня l_0 должна быть умножена на поправочный множитель, как объяснено в главе 9. В указанной главе этот множитель был представлен в виде:

$$1+\beta(T-T_0),$$

где значение β зависит от вещества стержня. Таким образом, определяемая длина l равна:

$$l=l_0[1+\beta(T-T_0)].$$

Подобным же образом может учитываться влияние на длину стержня других сил, но гравитации не будет среди них. Относительно света язык T_1 утверждает, что световые лучи в вакууме всегда представляют прямые линии. Они не искривляются или не отклоняются какимлибо образом в гравитационном поле. Другое возможное описание T_2 сохраняет евклидову геометрию. Наблюдения, которые свидетельствуют о неевклидовом характере пространства, объясняются посредством преобразований классических законов оптики и механики.

Чтобы увидеть, как эти два описания могут быть *применены к структуре плоскости* в физическом пространстве, когда предполагается теория относительности Эйнштейна, рассмотрим плоскость S, проходящую через центр Солнца. Согласно теории относительности, проверка с помощью наблюдения (если она возможна) покажет, что треугольник на этой плоскости, находящийся вне области Солнца, будет иметь сумму углов меньшую,

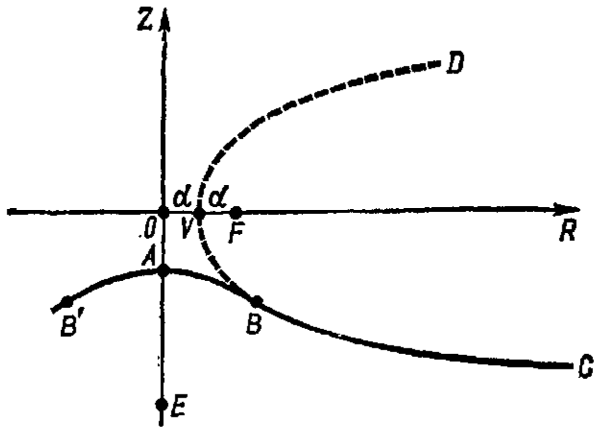


Рис. 16-1.

чем 180°. Подобно этому отношение окружности к диаметру на такой плоскости будет меньше π. Измерения, проведенные *внутри* Солнца, выявили бы отклонение в противоположном направлении.

Чтобы представить структуру этой плоскости интуитивно яснее и увидеть, как эта структура может быть описана с помощью конкурирующих языков T_1 и T_2, мы используем модель в евклидовом пространстве, которая может быть приведена в одно-однозначное соответствие со структурой только что описанной неевклидовой плоскости. Эта модель представляет некоторую искривленную поверхность S', построение которой описывается здесь [1].

В координатной системе $R—Z$ (рис. 16-1) кривая DBC является дугой параболы, которая имеет Z в качестве директрисы (кривая образуется точкой, движущейся так, что перпендикулярное расстояние от директрисы равно расстоянию от точки F, фокуса параболы).

V является вершиной параболы, а расстояние α пропорционально массе Солнца. Дуга AB есть дуга круга. Его центр E находится на оси Z и расположен так, что дуга плавно переходит в параболу. Это означает, что

---

[1] Об этом построении см.: L. Flamm, Phisikalische Zeitschrift (Leipzig), 17 (1916), S. 448—454; основывается на работе: Karl Schwarzschild, Sitzungberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin, 1916), S. 189—196, 424—434.

касательная к окружности в точке B и касательная к параболе в той же самой точке совпадают (точка B называется точкой перегиба кривой ABC). Предположим, что эта плавная кривая ABC вращается вокруг оси Z, образуя поверхность, подобную поверхности холма. Это будет поверхность S', которая служит в качестве евклидовой модели неевклидовой плоскости, проходящей через центр Солнца.

Часть поверхности вблизи вершины холма $B'AB$ является сферической и выпуклой. Она соответствует части плоскости внутри Солнца. Здесь кривизна постоянна и положительна. Этот пункт редко освещается в книгах по теории относительности, потому что не многие физики рассматривают геометрическую структуру пространства внутри тяжелых масс, подобных Солнцу. Но это важно с теоретической точки зрения и будет рассмотрено позже, когда будет анализироваться треугольник, образованный световыми лучами вне Солнца. За границами вершины этой сферической возвышенности поверхность является вогнутой, подобно поверхности седла. Эта кривизна является, конечно, отрицательной, но в отличие от геометрии Лобачевского она не постоянна. Чем дальше мы будем удаляться от вершины горы, тем больше и больше парабола будет походить на прямую линию. Кривизна заметно отличается от нуля только в точках, близких к сферической поверхности. Эта отрицательно искривленная часть поверхности соответствует части плоскости, находящейся вне пределов Солнца. В непосредственной близости от центра ее отрицательная кривизна максимально отлична от нуля. Чем дальше и дальше мы будем удаляться от Солнца, тем больше эта кривизна будет приближаться к нулю. Она никогда не достигнет нуля, но в достаточно удаленных точках практически может быть приравнена нулю. На чертеже величина кривизны значительно увеличена. Если бы масштаб фигуры был более точным, тогда кривая совпала бы с прямой и кривизна не могла бы быть обнаружена. Позже будет дана количественная оценка.

Теории T_1 и T_2, неевклидову и евклидову, можно теперь сравнить, когда они применяются к структуре плоскости, проходящей через центр Солнца. Это может быть сделано так же, как сделал Гельмгольц — с помощью модели искривленной поверхности, похожей на поверхность возвышенности. До этого о ней говорилось как о евклидовой поверхности. Теперь же она будет использована в качестве модели неевклидовой плоскости. Ее профиль изображен в виде линии S_1 на рис. 16-2.

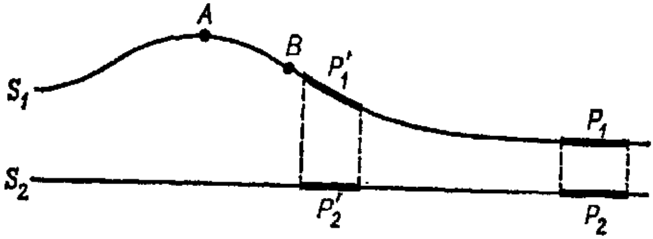


Рис. 16-2.

Прямая линия S_2 внизу представляет знакомую нам евклидову плоскость. Как и прежде, все точки на S_1 с помощью параллельных линий, показанных пунктиром, проектируются на S_2. Заметьте, что, если стержень движется от положения P_1 к положению P_1', то есть от положения, удаленного от Солнца, к положению, отстоящему от него достаточно близко, стержень не будет сокращаться, потому что события описываются здесь на языке неевклидовой геометрии. Но если мы используем евклидов язык теории T_2, связанной с плоскостью S_2, тогда мы должны сказать, что стержень сокращается, когда передвигается от P_2 к P_2'. Поэтому здесь должны быть добавлены новые законы, устанавливающие, что все стержни, когда они оказываются вблизи Солнца,

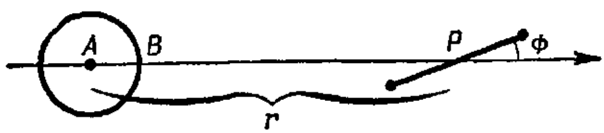


Рис. 16-3.

подвергаются некоторому сокращению в радиальном направлении — направлении к центру Солнца. Рис. 16-3 показывает ситуацию так, как мы видим ее сверху, а не в поперечном сечении.

Круг с центром в точке A изображает Солнце. Стержень находится в положении P. Пусть φ будет угол между стержнем и радиальным направлением. Сокращение стержня в терминах теории T_2 зависит от этого угла и может быть выражено общим законом. Этот закон устанавливает, что, когда стержень длины l_0 передвигается в каком-либо гравитационном поле (температура и другие условия остаются неизменными) в положение P на расстояние r от тела B, с массой m, под углом φ к радиальному направлению, то длина стержня уменьшится до величины, равной

$$l_0\left[1 - C\left(\frac{m}{r}\cos^2\varphi\right)\right],$$

где c есть некоторая постоянная. Поскольку это общий закон, как и закон теплового расширения, то следует учитывать вышеуказанное обстоятельство при использовании стержня в качестве стандартной единицы длины. Следовательно, в первоначальное уравнение для определения длины l должен быть добавлен поправочный член. И тогда уравнение будет иметь следующую форму:

$$l = l_0[1 + \beta(T - T_0)]\left[1 - C\left(\frac{m}{r}\cos^2\varphi\right)\right].$$

Сохраним расстояние r постоянным, но будем изменять угол φ. Если стержень расположен в радиальном направлении так, что $\varphi = 0$, тогда косинус угла будет равен 1 и $\cos^2\varphi$ можно будет опустить. В таком случае сокращение длины стержня достигнет максимального значения. Если φ составит прямой угол, тогда косинус будет равен нулю и весь поправочный член исчезнет. Иными словами, никакого сокращения стержня не происходит, когда стержень располагается перпендикулярно к радиальному направлению. Во всех других положениях величина сокращения изменяется от нуля до максимального значения.

Значение постоянной C очень мало. Если все величины будут измеряться в системе CGS (сантиметр, грамм, секунда), тогда значение C будет равно: $3{,}7 \times 10^{-29}$. Это значит, что за запятой имеется 28 нулей, за которыми следует 37. Очевидно, что это крайне малая величина. Даже в случае такой большой массы, как масса Солнца ($1{,}98 \times 10^{33}$ *г*), и при условии, что r становится так мало, как возможно, приближаясь к поверхности Солнца так близко, что r равно радиусу AB Солнца ($6{,}95 \times 10^{10}$ *см*), эффект сокращения стержня будет весьма мал. Фактически относительное сокращение стержня вблизи поверхности Солнца в радиальном направлении будет равно

$$C\frac{m}{r_0} = 0{,}0000011.$$

Тогда очевидно, что линии на рис. 16-1 и 16-2 даны в значительно увеличенном размере. Структура плоскости, проходящей через центр Солнца, практически одинакова

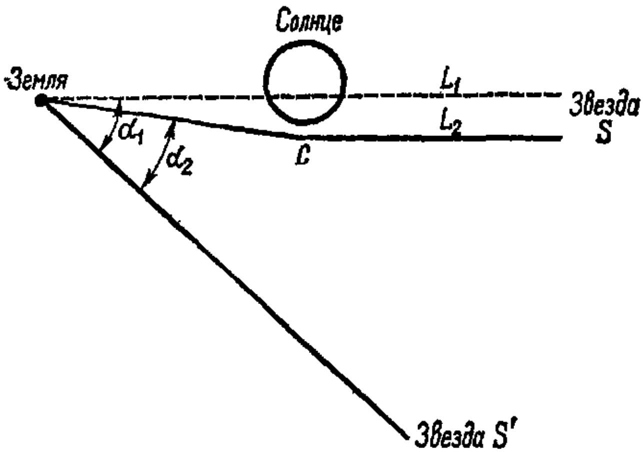


Рис. 16-4.

со структурой евклидовой плоскости. Однако здесь имеются небольшие отклонения и, как будет показано дальше, существуют экспериментальные процедуры для наблюдения этих отклонений.

Здесь следует уяснить важный пункт — и этот пункт был подчеркнут Пуанкаре. Он состоит в том, что поведение стержня в гравитационных полях может быть описано двумя существенно различными способами. Евклидова геометрия может быть сохранена, если мы введем новые физические законы, или же может быть сохранена неизменность твердых тел, если мы примем неевклидову геометрию. Мы свободны в выборе геометрии для физического пространства, но при этом должны внести необходимые изменения в физические законы. Эти положения относятся не только к законам о физических телах, но также и к законам оптики.

Необходимость изменения оптических законов может быть легко понята из рассмотрения пути светового луча, идущего от постоянной звезды к Земле и проходящего вблизи от Солнца. На рис. 16-4 в центре изображен солнечный диск, налево — Земля. Когда Солнце находится в положении другом, чем это показано на рисунке, свет, идущий от звезды S (звезда находится вне пределов рисунка вправо), будет обычно достигать Земли по прямой линии L_1. Но когда Солнце расположено так, как это показано на рисунке, то свет от звезды в точке C отклоняется так, что он пойдет по линии L_2. Звезда S расположена так далеко, что линии L_1 и L_2 (часть, находящаяся вправо от C) могут рассматриваться как параллельные. Но если астроном измерит угол α_2 между звездой S и другой звездой S', то он обнаружит, что этот угол будет немного меньше угла α_1, с которым он встретится в другом сезоне, когда Солнце не появится вблизи звезды S. Следовательно, положение звезды S, как оно кажется с Земли, должно слегка измениться по отношению к звезде S'. Это, конечно, эмпирическое наблюдение, которое фактически является одним из основных эмпирических подтверждений теории Эйнштейна.

Свет от Солнца так силен, что звезду, находящуюся недалеко от его края, можно видеть или сфотографировать только во время солнечного затмения. Часть такой фотографии напоминает нечто подобное тому, что изображено на рис. 16-5. Положение звезды S показано точкой. Другие звезды, включая звезду S', изображены с помощью других точек. Угол между световыми лучами, идущими от S и S', определяется путем измерения расстояния между S и S' на фотопластинке. Затем его расстояние сравнивается с расстоянием между этими звездами, снятыми в другое время, когда Солнце находится в некотором другом положении. Исторически первая проверка такого рода была осуществлена в 1919 году и впоследствии много раз повторялась во время позднейших солнечных затмений, когда наблюдались очень небольшие изменения в положениях звезд, близких к солнечному диску. Эти перемещения подтвердили предсказание Эйнштейна о том, что световые лучи, проходящие близко от Солнца, будут «изгибаться» мощным солнечным гравитационным полем.

Первые измерения этих перемещений были сделаны Финдлеем Фрейндлихом в эйнштейновской башне в Потсдаме, недалеко от Берлина. В то время я жил в Вене, и я вспоминаю свой визит к Гансу Рейхенбаху в Берлине. Мы оба пошли навестить Фрейндлиха в подвале башни, где он работал. Он потратил много дней, чтобы сделать тщательные измерения всех положений звезд на фотопластинке размером десять квадратных дюймов. С помощью микроскопа он мог делать повторные

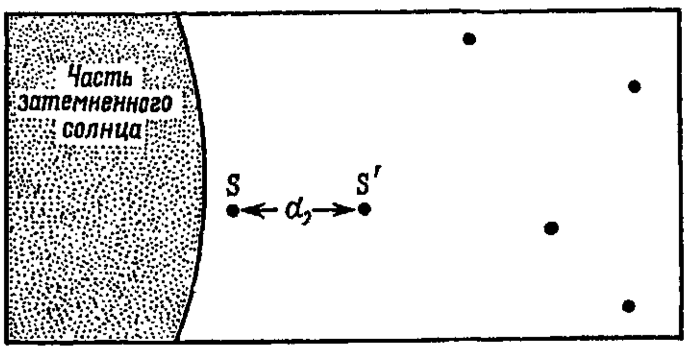


Рис. 16-5.

измерения координат каждой звезды, чтобы получить наиболее точную возможную оценку положения звезды. Он не разрешал делать какие-либо измерения своим ассистентам и все делал сам, потому что сознавал огромное историческое значение этой проверки. Оказалось, что изменение, хотя и очень небольшое, может быть обнаружено, и проверка явилась драматическим подтверждением теории Эйнштейна.

Ситуация относительно искривления световых лучей гравитационным полем похожа на ситуацию с кажущимся сокращением физических тел. Здесь опять мы должны сделать выбор между двумя теориями, чтобы объяснить эмпирические результаты. В теории T_2 мы придерживаемся евклидовой геометрии, но тогда мы должны ввести новые оптические законы, которые будут описывать искривление светового луча в гравитационных полях.

С другой стороны, в теории T_1 мы принимаем неевклидову геометрию и сохраняем классическую гипотезу, что в пустом пространстве свет не искривляется гравитационными полями. Это будет объяснено в следующей главе.

Важно до конца понять природу этого выбора, прежде чем задать вопрос о геометрической структуре пространства. Я считаю, что неясность этого вопроса и эллиптические формы выражения различных ответов, данных Пуанкаре и другими учеными, приводят к ошибочному истолкованию их позиции (например, Рейхенбахом). Пуанкаре говорит, что физик может свободно выбирать между евклидовой геометрией и любой формой неевклидовой геометрии. Поскольку Пуанкаре утверждает, что выбор есть дело соглашения, конвенции, то его взгляд стал известен как конвенционалистский взгляд. По моему мнению, Пуанкаре имеет здесь в виду выбор, который делает физик, *прежде* чем он решит, какой метод использовать для измерения длины. После того, как выбор будет сделан, он может *приспособить* свой метод измерения таким образом, чтобы он привел к выбранному типу геометрии. Как только метод измерения будет принят, вопрос о структуре геометрии становится эмпирическим вопросом, который должен быть решен с помощью наблюдений. Хотя Пуанкаре не всегда явно говорит об этом, но его фразы, взятые в контексте, показывают, что именно это он имеет в виду. По моему мнению, между Рейхенбахом и Пуанкаре по этому вопросу не существует разногласий. Верно, что Рейхенбах критиковал Пуанкаре за его конвенционалистский подход, не учитывающий эмпирической стороны вопроса о геометрической структуре пространства, но Пуанкаре выражается здесь эллиптически. Он касается только вопроса о первоначальном выборе геометрии физиком. Но оба они ясно видят, что, как только подходящий метод измерения будет принят, вопрос о геометрической структуре пространства превращается в эмпирическую проблему, которая может быть решена посредством наблюдений.

Эмпирический аспект этой проблемы ясно выступает благодаря интересному вопросу, который редко задают сегодня, но который много обсуждался в ранние годы развития теории относительности. Является ли мировое пространство конечным или бесконечным? Как отмечалось раньше, Эйнштейн однажды предложил модель мира, которую можно считать аналогичной поверхности сферы. Для двухмерных существ на сфере ее поверхность будет как конечной, так и неограниченной. Она будет конечной, потому что вся ее поверхность может быть исследована, а ее площадь точно вычислена. Эта поверхность будет неограниченной в том смысле, что по ней можно двигаться от любой точки, в любом направлении и никогда не столкнуться с какой-либо границей. В эйнштейновской модели трехмерное пространство, рассматриваемое с четырехмерной точки зрения, будет всюду обладать положительной кривизной, так что оно будет замкнуто в себе наподобие замкнутой поверхности сферы. Космический корабль, движущийся в каком-либо направлении «по прямой линии», в конечном счете возвратится в исходный пункт, так же как самолет, летящий вдоль большого круга земли, вернется в пункт вылета. Существовали даже теории о том, что галактика станет вновь видимой, если направить мощный телескоп в направлении, противоположном галактике.

Как мог Эйнштейн считать всю Вселенную имеющей положительную кривизну, когда он постоянно утверждал, что в гравитационных полях всегда существует отрицательная кривизна? Этот вопрос все еще является хорошей головоломкой для некоторых физиков. Ответ на него не так труден. Но вопрос может поставить в тупик человека, мало размышлявшего над такими вещами. Рассмотрим поверхность Земли, которая всюду имеет положительную кривизну. Тем не менее она содержит долины, которые обладают сильной отрицательной кривизной. Подобно этому же эйнштейновская модель мира содержит «долины» с отрицательной кривизной в сильных гравитационных полях, которые, однако, компенсируются более сильной положительной кривизной в *границах* больших масс, таких, как постоянные звезды. Эти звезды по аналогии с земной поверхностью соответствуют сильной положительной кривизне куполообразных горных вершин. Вычислено, что Вселенная в целом имела бы положительную кривизну, если бы средняя плотность массы в ней была достаточно высокой. В настоящее время гипотеза расширяющейся Вселенной и недавние расчеты количества материи в ней, кажется, делают эйнштейновскую замкнутую конечную модель маловероятной.

Возможно, что это еще открытый вопрос, потому что имеется много неясного относительно измерений масс и расстояний. Вероятно, водород может встречаться всюду, где, как раньше считали, существует пустое пространство; его учет повысит среднюю плотность массы во Вселенной. Во всяком случае, привлекательная идея Эйнштейна о замкнутой, но неограниченной Вселенной, конечно, кажется теперь менее правдоподобной, чем тогда, когда он впервые выдвинул ее. Главное, что должно быть подчеркнуто здесь, состоит в том, что свидетельства за или против этой модели Вселенной являются свидетельствами. эмпирическими.

В настоящее время, хотя неевклидова геометрия считается общепризнанной для теории относительности, не существует никакой модели Вселенной, с которой согласились бы все астрономы и физики.

Как мы видели, физики могут сохранить евклидову геометрию (тогда как Пуанкаре ошибочно предсказал, что они обязательно сохранят ее) и могут объяснить новые наблюдения путем введения новых поправочных множителей в законы механики и оптики. Вместо этого они вслед за Эйнштейном отказываются от евклидовой геометрии. На каком основании принимается такое решение? Служит ли таким основанием простота? И если так, то какая простота имеется в виду? Евклидов подход связан с более простой геометрией, но более сложными физическими законами. Неевклидов подход имеет значительно более сложную геометрию, но гораздо более простые физические законы. Какому из двух подходов, каждый из которых проще другого в некотором отношении, мы должны отдать предпочтение?

В следующей главе мы попытаемся ответить на этот вопрос.

Глава 17

ПРЕИМУЩЕСТВА НЕЕВКЛИДОВОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

В поисках основы для выбора евклидовой или неевклидовой геометрической структуры для физического пространства с самого начала возникает искушение выбрать подход, обеспечивающий простейший метод для измерения длины. Иными словами, возникает желание избежать, насколько это возможно, введения поправочных коэффициентов в методы измерения. К несчастью, если это правило берется буквально, то оно приводит к фантастическим следствиям. Простейший способ измерения длины состоит в том, чтобы выбрать измеряющий стержень и определить единицу длины как длину этого стержня, без введения каких-либо поправочных коэффициентов вообще. Стержень берется в качестве единицы длины независимо от его температуры, действия на него магнитных и упругих сил, влияния сильного или слабого гравитационного поля. Как было показано раньше, никакое логическое противоречие не может возникнуть из-за принятия такой единицы длины. Такой выбор не исключается наблюдаемыми фактами. Однако за него следует расплачиваться дорогой ценой. Он приводит к странной, неправдоподобно сложной картине мира. Действительно, в этом случае придется говорить, например, что всякий раз, когда пламя подносится к стержню, все другие предметы в космосе, включая наиболее удаленные галактики, немедленно сжимаются. Ни один физик не захочет принять такие странные следствия и запутанные физические законы, которые возникнут, если будет принято это простейшее определение длины.

На каком основании тогда Эйнштейн и его последователи выбирают более сложную, неевклидову геометрию? Ответ заключается в том, что они делают такой выбор не на основе простоты того или иного частного аспекта ситуации, а скорее простоты всей системы физики, возникающей в результате такого выбора. С этой общей точки зрения мы должны, конечно, согласиться с Эйнштейном, что будет выигрыш в простоте, если будет принята неевклидова геометрия. Чтобы сохранить евклидову геометрию, физики должны придумать странные законы о сжатии и расширении твердых тел и искривлении световых лучей в гравитационном поле. Как только будет принят неевклидов подход, будет достигнуто огромное упрощение физических законов. В первую очередь отпадет необходимость во введении новых законов сжатия твердых тел и искривления световых лучей. Более того, старые законы, управляющие движением физических тел, например определяющие формы орбит планет вокруг Солнца, станут значительно проще. Даже сами гравитационные силы будут в известном смысле исчезать из картины. Вместо «сил» там будут только движения тел вдоль их естественной «мировой линии», как это диктуется требованиями неевклидовой геометрии системы пространства — времени.

Понятие мировой линии может быть пояснено следующим образом. Предположим, что вы хотите изобразить на карте M движение вашего автомобиля, когда вы проезжаете через улицы Лос-Анджелеса. На рис. 17-1

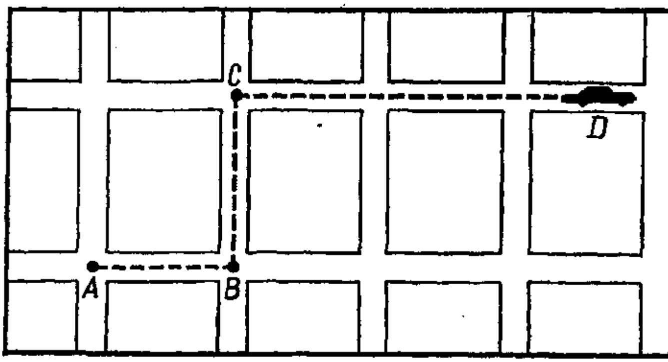


Рис. 17-1.

показана такая карта. Путь автомобиля показан с помощью линии $ABCD$. Линия точно показывает, как ваш автомобиль проехал по улицам, но, конечно, она ничего не говорит о скорости его движения. Элемент времени здесь отсутствует.

Как можно изобразить движение автомобиля, чтобы учитывались время и скорость его движения? Это может быть сделано с помощью серии карт M_1, M_2, ..., каждая из которых начерчена на прозрачном листе из пластика, как показано на рис. 17-2. На M_1 мы отмечаем точку A_1 (соответствующую точке A первоначальной карты M), где ваш автомобиль находится в первое мгновение времени T_1. На M_2 вы отмечаете положение автомобиля B_2 в более поздний момент времени T_2 (скажем, 20 секунд после T_1). M_3 и M_4 показывают положения C_3 и D_4 автомобиля в моменты времени T_3 и T_4. Карты расположены в каркасе, параллельно друг другу, на расстоянии,

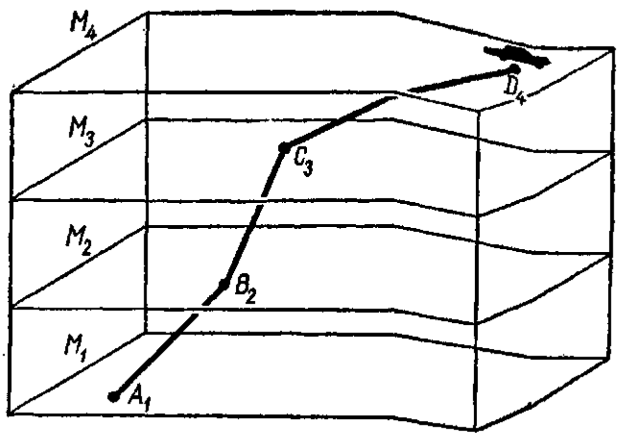


Рис. 17-2.

скажем, десять дюймов. Вертикальная шкала в один дюйм используется для представления времени в две секунды. Если связать четыре точки проволокой, то проволока будет представлять *мировую линию* движения автомобиля. Дополнительно к тому, что она показывает, где находится автомобиль в каждый момент времени, она еще будет показывать его скорость, когда автомобиль движется от одной точки к другой.

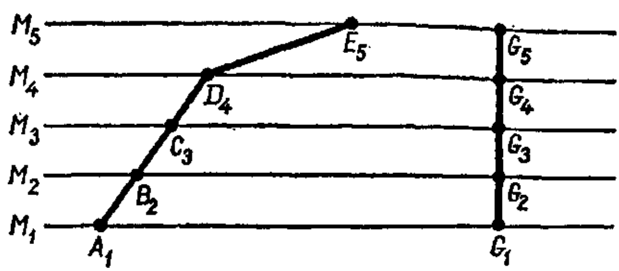


Рис. 17-3.

Более простой пример мировой линии представляет движение автомобиля вдоль прямой по бульвару Уилшир. Мировая линия в этом случае может быть начерчена так, как показано на рис. 17-3, где горизонтальная ось изображает расстояние, а вертикальная — время в минутах. Автомобиль начинает движение в момент времени M_1 из положения A_1. В течение первых трех минут он движется с постоянной скоростью от A_1 до D_4. От D_4 до E_5 скорость автомобиля постоянна, но значительно больше, чем раньше, потому что он проходит гораздо большее расстояние за одну минуту. Справа от этой диаграммы показана мировая линия человека, стоящего в точке G в течение тех же самых четырех минут. Поскольку он не двигается, то его мировая линия поднимается прямо вверх. Очевидно, что мировая линия на этой диаграмме будет все больше и больше отклоняться от вертикали, когда скорость увеличивается. Если скорость не постоянна, мировая линия искривляется. Таким путем линия выражает все особенности реального движения. Даже если скорость тела увеличивается или уменьшается, мировая линия показывает его скорость в каждый момент времени.

Мировая линия тела может быть изображена на плоскости, только если тело движется по одномерному пути. Если путь имеет два измерения, как в первом примере, тогда мировая линия должна быть изображена на трехмерной карте. Подобным же образом мировая линия тела, движущегося в трехмерном пространстве, должна быть представлена с помощью серии трехмерных карт, которые образуют четырехмерную систему тем же самым путем, как серия двухмерных карт из пластика образует трехмерную систему. Действительная модель четырехмерной схемы, содержащей четырехмерную мировую линию, не может быть построена, но мировая линия может быть описана математически. Специальная метрика, введенная Германом Минковским, приводит к необычайно простой формуле. Когда мы применим все это к законам распространения световых лучей и движения тел, таких, как планеты, то оказывается, что мировые линии как планет, так и световых лучей во всех гравитационных полях являются геодезическими линиями. Как было объяснено раньше, геодезические линии представляют «наикратчайшие» возможные линии в данной пространственной системе. Пространственная система может не иметь постоянной кривизны. Например, на поверхности Земли, с нерегулярно расположенными вершинами и долинами, возможно найти одну или несколько геодезических линий, которые представляют кратчайший путь между любыми двумя точками. Геодезические линии являются двойниками прямых линий евклидовой плоскости.

В теории относительности мировые линии планет и световых лучей являются геодезическими линиями. Так же как в классической физике, тело, не подверженное действию внешних сил, движется по прямой с постоянной скоростью и, следовательно, вдоль прямой мировой линии, так и в физике относительности это движущееся тело даже в гравитационных полях движется вдоль мировых линий, которые являются геодезическими линиями. Никакое понятие «силы» не входит в эту картину. Почему планета движется вокруг Солнца, а не удаляется от него по касательной? Это происходит не потому, что Солнце обладает «силой», которая «толкает» планеты к нему, а потому, что солнечная масса создает отрицательную кривизну в неевклидовой структуре пространства — времени. В искривленной структуре наипрямейшей мировой линией для планеты, то есть ее геодезической линией, будет, оказывается, та линия, которая соответствует ее действительному движению вокруг Солнца. Эллиптическая орбита планеты не является геодезической линией в трехмерном пространстве, но ее мировая линия в четырехмерной неевклидовой системе пространства — времени представляет геодезическую линию. Она представляет наипрямейшую возможную линию, которую может иметь планета. Подобным же образом свет распространяется в пространстве — времени также по геодезическим мировым линиям.

С неевклидовой точки зрения теории относительности не существует никаких сил гравитации в смысле упругих или электромагнитных сил. Сама гравитация исчезает из физики и заменяется геометрической структурой четырехмерной системы пространства — времени. Это было таким революционным преобразованием, что нетрудно представить, почему многие не могли правильно понять эту теорию. Иногда говорят, что часть физики, а именно теория гравитации, заменяется чистой геометрией или часть физики превращается в математику. Нокоторые размышляют даже о такой возможности, когда однажды вся физика может превратиться в математику. Я считаю это недоразумением. Авторы, которые пытаются сделать теорию относительности ясной для неспециалистов, с удовольствием используют такие возбуждающие, парадоксальные фразы. Подобные фразы могут расцветить сочинение, но они часто создают неверное представление о действительном состоянии дел. В рассматриваемом случае, я считаю, они приводят к смешению геометрии в ее математическом смысле с геометрией в физическом смысле. В теории относительности физика гравитации действительно заменяется физической геометрией пространства, или, более точно, системы пространства — времени. Но эта геометрия все еще является частью физики, а не чистой математики. Она есть *физическая*, а не математическая геометрия.

В то время как физическая геометрия является эмпирической теорией, математическая геометрия есть чисто логическая теория. В теории относительности Эйнштейна гравитация просто принимает другую форму: одна физическая теория гравитации преобразуется в другую физическую теорию. Хотя понятие силы в ней больше не применяется, релятивистская теория все же остается физикой, а не превращается в математику. В ней продолжают встречаться нематематические величины (распределения кривизны пространства — времени). Это физические величины, а не математические понятия. Здесь следует обратить внимание на то, что, поскольку теория гравитации Эйнштейна называется геометрией, возникает искушение рассматривать ее как чистую математику. Однако физическая геометрия не является математикой, она есть теория физического пространства. Это не только чистая абстракция. Она представляет физическую теорию движения тел и распространения световых лучей и, следовательно, не может рассматриваться как часть чистой математики. Как указывалось раньше, следует cum grano salis[1] отнестись к известному замечанию Галилея о том, что книга природы написана математическим языком. Это замечание легко истолковать неправильно. Галилей имеет здесь в виду то обстоятельство, что природа может быть описана с помощью математических понятий, а не то, что весь язык физики состоит из математических символов. Такие понятия, как «масса» или «температура», абсолютно невозможно определить так, как в чистой математике определяется понятие логарифма или любой другой математической

---

[1] С большой осторожностью (*лат.*). — *Прим. перев.*

функции. Важно учитывать принципиальное различие, которое существует между физическими символами, встречающимися в физических законах (например, «m» для массы, «T» для температуры), и математическими символами, встречающимися в этих же законах (например, «2», «$\sqrt{}$», «log», «cos»).

Значительная простота эйнштейновских уравнений движения тел и распространения световых лучей, конечно, говорит в пользу его заявления, что неевклидов подход предпочтительнее евклидового, при котором приходится усложнять уравнения путем введения поправочных множителей. Но все это еще не дает нам какого-либо общего принципа, который показывал бы, как достигнуть наибольшей простоты в процессе выбора различных альтернативных подходов к физике. Желательно иметь общее правило выбора, которое можно было бы применять ко всем будущим ситуациям. Тогда эйнштейновский выбор будет специальным случаем общего правила. Само собой разумеется, конечно, что наипростейшая общая система физики будет предпочтительнее, но не в этом заключается вопрос. Вопрос состоит в том, какая из двух систем имеет максимальную простоту в целом. Когда встречаются две конкурирующие системы, часто случается, что каждая из них в некотором отношении будет проще, чем другая. Как в таких случаях определить предельную простоту?

Заслуга Рейхенбаха состоит в том, что он предложил общее правило такого рода. Возможно, что его правило не обладает абсолютной общностью, но оно охватывает обширный класс ситуаций и представляется весьма интересным. У меня создалось впечатление, что на него не обращалось достаточного внимания. Это правило основывается на различии между «дифференциальными силами» и «универсальными силами». Хотя Рейхенбах говорит о них как о «силах», но предпочтительней говорить о них более общим путем, как о двух родах «эффектов» (силы могут быть введены позднее, чтобы объяснить эти эффекты). Отличие таково. Если эффект является различным для различных веществ, тогда он относится к *дифференциальному эффекту*. Если он количественно остается тем же самым независимо от природы вещества, тогда он представляет *универсальный эффект*.

Это различие может быть пояснено с помощью следующих примеров. Когда железо нагревается, то оно расширяется. Если длина измеряется железным стержнем, то этот эффект теплового расширения принимается в расчет (как указывалось раньше) путем введения поправочного множителя

$$l = l_0[1 + \beta(T - T_0)].$$

В этой формуле β представляет коэффициент теплового расширения. Он является постоянным, но только для тел из данного вещества. Если стержень железный, то β имеет определенное значение; если он сделан из меди, золота или другого вещества, то β имеет другие значения. Таким образом, очевидно, что расширение стержня при нагревании представляет дифференциальный эффект, потому что он изменяется с исследуемым веществом.

Рассмотрим формулу для длины после добавления второго поправочного множителя, когда принимается в расчет влияние гравитации на длину стержня. Эта формула, как мы помним, будет иметь следующий вид:

$$l = l_0[1 + \beta(T - T_0)]\left[1 - C\left(\frac{m}{r}\cos^2\varphi\right)\right].$$

C во втором поправочном множителе представляет универсальную константу, которая является одинаковой при любом гравитационном поле и для любого тела. Внутри правой пары скобок не имеется никакого параметра, который изменялся бы от вещества к веществу тем же самым способом, как изменяется параметр β внутри левой пары скобок. Второй поправочный множитель учитывает массу m Солнца, расстояние r от Солнца до измерительного стержня и угол φ, который образует стержень с радиальным направлением от Солнца к стержню. Здесь ничего не говорится относительно того, является ли стержень железным, медным или из другого вещества. Таким образом, это есть универсальный эффект.

Рейхенбах иногда добавляет, что универсальные эффекты являются такого рода эффектами, от которых нельзя защититься с помощью экрана. Металлический стержень, например, может быть защищен от теплового воздействия железными стенками. Не существует, однако, никакого способа защиты от гравитационных эффектов. По моему мнению, чтобы различать дифференциальные и универсальные эффекты, нет необходимости говорить об экранировании, потому что это условие неявно уже содержится в ранее высказанных утверждениях. Если железная стена строится для того, чтобы защитить часть аппарата от сильного магнитного поля в соседней комнате, то экран является здесь эффективным только потому, что железная стена возбуждается магнитным полем иначе, чем воздух. Если бы это было не так, то экран не мог бы действовать. Понятие экранирования применяется, следовательно, только к таким эффектам, которые по-разному влияют на разные вещества. Если универсальный эффект определяется как эффект, который является одинаковым для всех веществ, то отсюда следует, что здесь никакое экранирование от эффекта невозможно.

При более подробном анализе дифференциальных и универсальных эффектов[1] Рейхенбах обращает особое внимание на следующий факт. Предположим, кто-то утверждает, что он только что открыл новый эффект и установил, что он не изменяется от вещества к веществу. Исследование закона для этого нового эффекта показывает, что исследователь был прав. Этот закон не содержит никакого параметра, который бы изменялся с изменением природы вещества. В такого рода случаях, утверждает Рейхенбах, теория всегда может быть переформулирована таким образом, что универсальный эффект полностью исчезнет.

Не существует никакого соответствующего способа элиминации дифференциального эффекта, такого, как тепловое расширение. Утверждение об отсутствии теплового эффекта может быть легко опровергнуто. Для этого просто помещают рядом два стержня из различных веществ и нагревают их до той же самой температуры, а затем наблюдают полученную разницу в их длинах. Очевидно, что здесь имеется какое-то различие и не существует никакого способа объяснения этого разли-

[1] См. главу 6: «The Distinction between Universal and Differential Forces», в: Hans Reichenbach, The Philosophy of Space and Time», New York, Dover, 1958. (Русский перевод: Г. Рейхенбах «Философия пространства и времени», М., УРСС, 2002.)

чия без введения понятия теплового расширения. С другой стороны, такой универсальный эффект, как влияние гравитации на длины стержней, *может быть* объяснен посредством принятия теории, в которой этот эффект полностью исчезает. Именно так случилось с теорией относительности Эйнштейна. Принятие подходящей неевклидовой системы пространства — времени избавляет от необходимости говорить о расширении и сокращении тел в гравитационных полях. Тела не изменяют своих размеров, когда движутся в таких гравитационных полях; но в этой теории существует другая структура пространства — времени. В отличие от предыдущей ситуации с тепловым расширением здесь никаким способом нельзя показать, что элиминация гравитационного эффекта невозможна. Гравитационные поля оказывают то же самое воздействие на все вещества. Если два стержня помещаются рядом друг с другом и повернуты в разных направлениях, то они сохраняют ту же самую длину относительно друг друга.

С точки зрения этих рассуждений Рейхенбах и предложил свое правило для упрощения физической теории: всякий раз, когда имеется система физики, в которой устанавливается некоторый универсальный эффект с помощью закона, характеризующего, при каких условиях и какой величины достигает этот эффект, эта теория должна быть преобразована так, чтобы величина эффекта сводилась к нулю. Именно это и сделал Эйнштейн при рассмотрении сокращений и расширений тел в гравитационных полях. С точки зрения Эйнштейна, такие изменения действительно встречаются, но они представляют универсальные эффекты. Однако принятие неевклидовой системы пространства — времени сводит эти эффекты к нулю. Конечно, другие эффекты, такие, как отклонение суммы углов треугольника от 180°, могут быть обнаружены, но зато больше уже не возникает необходимости говорить о сокращении и расширении твердых тел. Всякий раз, когда обнаруживаются универсальные эффекты в физике, заявляет Рейхенбах, их всегда можно элиминировать путем подходящего преобразования теории. Такое преобразование должно быть сделано для того, чтобы получить предельно простой результат. Это полезный общий принцип, заслуживающий большего внимания, чем он получил до сих пор. Он применяется не только к теории относительности, но также к тем ситуациям, которые могут возникнуть в будущем, когда будут обнаружены универсальные эффекты. Без принятия этого правила нельзя дать однозначный ответ на вопрос: какова структура пространства? Если принимается это правило, то этот вопрос больше не является неопределенным.

Когда Эйнштейн предложил неевклидову геометрию для пространства, против нее возникли сильные возражения. Мы уже отмечали возражение Динглера и других о том, что евклидова геометрия уже предполагается при изготовлении измерительных инструментов. Но, как было показано, такое возражение, конечно, было ошибочным. Более общее возражение, скорее с философской точки зрения, состояло в том, что неевклидову геометрию нельзя принять потому, что ее невозможно вообразить. Она противоречит нашему образу мышления и нашей интуиции. Это возражение иногда выражается кантианским, иногда феноменологическим способом (терминология различается), но общим для них является утверждение о том, что наш разум работает таким образом, что мы не можем отчетливо представить себе какую-либо неевклидову пространственную структуру.

Этот вопрос также рассматривался Рейхенбахом[1]. Я считаю, что он прав, называя его психологической проблемой и заявляя, что не существует никаких оснований для предположения о том, что наша интуиция сформирована по евклидовскому образцу. Напротив, существуют превосходные основания для веры, что наше зрительное пространство, по крайней мере зрительное пространство ребенка, является неевклидовым. «Пространственная интуиция», как ее называют, не столько является интуицией метрической структуры, сколько интуицией топологической структуры. Наши восприятия говорят нам, что пространство трехмерно и непрерывно и каждая точка имеет те же самые топологические свойства, как и любая другая. Однако когда рассматриваются метрические свойства пространства, наша интуиция служит нам довольно неопределенным и неточным руководством.

---

[1] Hans Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, ch. 9—11. (См. русский перевод: Г. Рейхенбах «Философия пространства и времени», М., УРСС, 2002, гл. 9—11.)

Неевклидовый характер пространственных восприятий выступает в удивительной способности разума приспосабливаться к любым типам образом, которые появляются на сетчатке глаза. Например, лицо, страдающее сильным астигматизмом, будет иметь сильно искаженные образы на сетчатке каждого глаза. Образ измерительной линейки на его сетчатке может быть длиннее, когда он рассматривает линейку, расположенную горизонтально, а не вертикально. Но он не сознает этого, потому что длины всех предметов в его зрительном поле изменяются одинаковым образом. Когда такому лицу вначале рекомендуют корригирующие очки, его зрительное поле будет казаться сильно искаженным в течение многих дней или недель, пока его мозг не приспособится к нормальным образам на его сетчатке. Подобно этому, лицо с нормальным зрением может надеть специальные очки, которые будут сильно искажать образы в направлении одной из координат. Со временем он привыкнет к новым образам и его зрительное поле окажется нормальным. Гельмгольц описал эксперименты такого рода — некоторые из них он действительно выполнил, — из которых он сделал вывод, что зрительное пространство может иметь неевклидову структуру. Гельмгольц верил — и я считаю, что могут быть приведены веские аргументы в пользу этой веры, — что, если ребенок или даже взрослый будет достаточно подготовлен с помощью опытов, включающих поведение тел в неевклидовом мире, он будет в состоянии зрительно представить неевклидову структуру с той же самой легкостью, с какой сейчас может представить евклидову структуру.

Даже если эта вера Гельмгольца является необоснованной, имеется более существенный аргумент против возражения о том, что неевклидова геометрия не может быть принята потому, что ее нельзя вообразить. Способность зрительного представления является психологическим фактором, целиком чуждым физике. Построение физической теории не ограничивается возможностью ее представления человеком. Фактически современная физика постоянно отходит от того, что может быть непосредственно наблюдаемо и вообразимо. Даже если бы теория относительности значительно больше противоречила нашей интуиции и сама наша интуиция пространства постоянно и неизменно склонялась бы к евклидовой точке зрения, мы все же могли бы использовать в физике любые геометрические структуры, которые нам желательны.

В девятнадцатом столетии в Англии больше, чем на континенте, существовало сильное стремление в физике к зрительному представлению и построению моделей. Эфир представлялся в виде странного рода прозрачного, желеподобного вещества, способного колебаться и проводить электромагнитные волны. По мере развития физики эта модель эфира все больше и больше усложнялась и даже приобретала свойства, которые казались несовместимыми. Например, с одной стороны, эфир должен был мыслиться как совершенно лишенный плотности, поскольку он не оказывал какого-либо наблюдаемого сопротивления движению планет и их спутников. С другой стороны, поскольку световые волны оказывались скорее поперечными, чем продольными, он больше был похож на тела, обладающие очень *высокой* плотностью. Хотя эти свойства и не были логически несовместимы, они делали крайне трудной разработку интуитивно удовлетворительной модели эфира. В конце концов различные модели эфира стали настолько сложными, что они больше уже не служили какой-либо полезной цели. Вот почему Эйнштейн счел наилучшим отказаться от эфира вообще. Проще было принять уравнения — уравнения Максвелла и Лоренца — и производить вычисления с ними, чем пытаться строить такую причудливую модель, которая не оказывала никакой помощи в представлении структуры пространства.

Отказаться пришлось не только от эфира. Тенденция девятнадцатого столетия к построению визуальных моделей стала все больше и больше ослабевать, когда в двадцатом веке развилась новая физика. Новейшие теории физики стали такими абстрактными, что они должны были ограничиться своими собственными терминами. Пси-функция, представляющая состояние такой физической системы, как атом, является слишком сложной, чтобы можно было легко представить ее зрительно. Конечно, часто оказывается возможным искусному учителю или автору по научным вопросам использовать диаграммы, чтобы помочь объяснить некоторые аспекты абстрактных теорий. Не существует никаких возражений против использования таких диаграмм в качестве учебного средства. Пункт, который должен быть подчеркнут здесь, состоит в том, что трудность представления новой физической теории с помощью наглядных образов не может служить обоснованным возражением против принятия этой теории. Именно такого рода возражения часто выдвигались против теории относительности, когда она была впервые предложена. Я вспоминаю случай, примерно в 1930 году, когда я обсуждал эту теорию с немецким физиком в Праге. Он был крайне угнетен новой теорией.

«Это ужасно,— заявил он.— Посмотрите, что сделал Эйнштейн с нашей чудесной физикой!»

«Ужасно?» — переспросил я. Я был воодушевлен новой физикой. Только с помощью нескольких общих принципов, описывающих некоторые типы инвариантов, и волнующим принятием неевклидовой геометрии можно было так много объяснить, что раньше было непостижимым! Но у этого физика было такое сильное эмоциональное сопротивление теориям, которые было трудно представить наглядно, что он почти растерял весь свой энтузиазм в физике из-за революционных изменений, предложенных Эйнштейном. Единственная вещь, которая поддерживала его,— это надежда на то, что однажды — и он надеялся на это в течение всей своей жизни — явится другой революционер в физике, чтобы восстановить старый классический порядок, при котором он мог бы свободно дышать и снова чувствовать себя как дома.

Подобная же революция произошла в атомной физике. Модель атома, предложенная Нильсом Бором, многие годы считалась вполне удовлетворительной. Эта модель представляла атом в виде планетарной системы, в центре которой находится ядро, а вокруг него по орбитам движутся электроны. Но впоследствии было доказано, что эта модель представляет упрощение действительного положения вещей. В настоящее время физик-ядерник даже не пытается строить полные модели. Если он и использует модели вообще, то ясно отдает себе отчет в том, что его картина представляет только некоторые аспекты ситуации и отвлекается от других аспектов. От полной системы физики больше не требуется, чтобы все части ее структуры могли быть ясно представлены наглядно. В этом состоит главная причина того, почему психологические утверждения о невозможности наглядного представления неевклидовой геометрии, даже если бы они были правильными (а по моему мнению, это сомнительно), не являются законным возражением против принятия неевклидовой физической системы.

Физик должен всегда остерегаться использовать визуальные модели, кроме как педагогического или временного средства. В то же время он должен допускать возможность того, что эти модели могут быть, а иногда и оказываются совершенно точными. Природа иногда выкидывает такие сюрпризы. Много лет назад, прежде чем физика разработала ясное понятие о том, как связаны атомы в молекулах, на практике было принято представлять молекулярные структуры в виде схематических картин. Атомы вещества в этих схемах указывались с помощью заглавных букв, а валентные связи соединяли их различными способами. Я вспоминаю разговор с одним химиком, который в то время возражал против таких диаграмм.

«Но не оказывают ли они нам большую помощь?» — спросил я.

«Да, — сказал он, — но мы должны предостеречь наших студентов, чтобы они не думали об этих диаграммах как представляющих действительные пространственные конфигурации. Мы в действительности ничего вообще не знаем о пространственной структуре на молекулярном уровне. Эти диаграммы являются не более чем диаграммами, подобно кривой, которая иллюстрирует на графике увеличения популяции или производство чугунных чушек. Мы все знаем, что такая кривая представляет только образ. Популяция или производство чугунных чушек не понимаются в каком-либо пространственном смысле. Молекулярные схемы должны мыслиться тем же самым путем. Никто не знает, какого рода пространственную структуру в действительности имеют молекулы».

Я соглашался с химиком, но доказывал, что существует по крайней мере возможность того, что молекулы могут связываться именно тем способом, который указывается на диаграммах. Такой взгляд в особенности напрашивался в связи с открытием стереоизомеров, благодаря которым стало удобным думать об одной молекуле как о зеркальном отображении другой. Если один вид молекулы сахара вращает поляризованный свет по часовой стрелке, а другой — против часовой стрелки, тогда, кажется, будет указан некоторый тип пространственного расположения атомов в молекуле. Конфигурации способны иметь правую и левую формы.

«Верно, — ответил химик, — это предполагается. Но мы не знаем наверняка, что это в действительности происходит так».

Он был прав. В то время так мало было еще известно о структуре молекул, что было преждевременным настаивать на том, что чем больше мы будем знать об их структуре, тем больше будет возможности представлять молекулы с помощью наглядных трехмерных моделей. Впоследствии было осознано, что наблюдения могут потребовать структур четырех, пяти или шести измерений. Диаграммы были лишь удобными схемами того, что было тогда известно.

Но вскоре оказалось, в частности после определения Максом фон Лауэ структур кристаллов посредством дифракции рентгеновских лучей, что атомы в молекулах в действительности расположены так, как показано на структурных диаграммах. В настоящее время химик без колебаний скажет, что в протеиновой молекуле некоторые атомы находятся здесь, а некоторые другие — там, и все они расположены в форме спирали. Модели, показывающие связи атомов в трехмерном пространстве, понимаются совершенно буквально. Никаких свидетельств, оспаривающих это, не было обнаружено. Наоборот, имеются веские основания думать, что трехмерные модели молекул представляют действительные конфигурации в трехмерном пространстве. Совсем недавно с таким же сюрпризом встретились в результате экспериментов, показывающих, что при слабых ядерных взаимодействиях не сохраняется четность. Теперь выявляется, что частицы и античастицы, до сих пор рассматривавшиеся как зеркальные отображения только в метафорическом смысле, в действительности могут быть зеркальными отображениями в пространственном смысле.

Таким образом, предостережение против того, чтобы не рассматривать модели в буквальном смысле, хотя и справедливо в принципе, впоследствии может оказаться не обязательным. Теория может отказаться от моделей, которые допускают наглядное представление. Затем, на более поздней фазе, когда становится известным больше материала, она может вновь возвратиться к наглядным моделям, которые раньше подвергались сомнению. В случае молекулярных моделей сомнения высказывали главным образом физики. Схема пространственного расположения атомов в молекуле является настолько удобной, что большинство химиков истолковывало эту модель буквально, хотя физики были правы, говоря, что это не было достаточно обосновано.

Модели в смысле наглядных пространственных структур не должны смешиваться с современными математическими моделями. В настоящее время вошло в обычную практику математиков, логиков и естествоиспытателей говорить о моделях, когда имеются в виду абстрактные понятийные структуры, а не то, что может быть построено в лаборатории с помощью шаров и проводов. Математические модели могут быть просто математическими уравнениями или системой таких уравнений. Они представляют собой упрощенное описание любой структуры — физической, экономической, социологической или другой, — в которой абстрактные понятия могут быть связаны математическим путем. Такие модели являются упрощенными описаниями потому, что они отвлекаются от многих факторов, которые иначе бы усложнили модель. Например, экономист говорит об одной модели для экономики свободного рынка, другой — для плановой экономики и т. п. Психолог говорит о математической модели процесса обучения как об одном психологическом состоянии, связанном с другим некоторой вероятностью перехода, что делает последовательность тем, что математики называют цепью Маркова. Все такие модели совершенно отличаются от моделей физики девятнадцатого столетия. Цель их состоит не в том, чтобы наглядно представить процессы, а в том, чтобы формализовать их. Такая модель является чисто гипотетической, поскольку при этом выдвигаются некоторые параметры и они приспосабливаются до тех пор, пока наилучшим образом не подойдут к полученным данным. Когда будет сделано большее число наблюдений, то может потребоваться изменить не только параметры, но также и основные уравнения. Иными словами, придется изменить саму модель. Старая модель достаточно хорошо послужила для своего времени. Теперь требуется новая модель.

Физические модели девятнадцатого столетия не являлись моделями в этом абстрактном смысле. Они претендовали на то, чтобы быть пространственными моделями пространственных структур, подобно тому как модель корабля или самолета действительно представляет корабль или самолет. Конечно, химик не считает, что молекулы сделаны из маленьких цветных шариков, скрепленных вместе проволокой. Имеется много особенностей этой модели, которые нельзя рассматривать буквальным образом. Но в своей общей пространственной конфигурации эта модель рассматривается как точная схема пространственного расположения атомов в действительной молекуле. Как было показано, имеются веские доводы рассматривать иногда такую модель буквально — например, модель солнечной системы, или кристалла, или молекулы. Даже когда не существует никаких оснований для такой интерпретации, наглядные модели могут быть крайне полезными. Разум работает интуитивно, и часто ученому полезно думать с помощью наглядных образов. В то же время следует всегда осознавать границы возможностей моделирования. Построение сети наглядных моделей никоим образом не гарантирует правильности теории, так же как отсутствие наглядной модели не является достаточным основанием для отрицания теории.

Глава 18

КАНТОВСКИЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ АПРИОРНЫЕ СУЖДЕНИЯ

Возможно ли знание, которое было бы одновременно и синтетическим и априорным? Этот знаменитый вопрос был поставлен Иммануилом Кантом, ответившим на него утвердительно. Важно точно понять, что Кант подразумевал под этим вопросом и почему современные эмпиристы не соглашаются с его ответом.

В кантовском вопросе следует иметь в виду два важных различия — различие между *аналитическим* и *синтетическим* и различие между *априорным и апостериорным.*

Существуют разные истолкования этих двух различий. По моему мнению, первое из них является логическим, а второе — эпистемологическим.

Рассмотрим сначала логическое различие. Логика имеет отношение исключительно к тому, является ли утверждение истинным или ложным на основании значений, приписываемых терминам утверждения. Например, определим термин «собака» следующим образом: «*X* есть собака, если и только если *X* есть животное, обладающее определенными свойствами». Свойство быть животным составляет, следовательно, часть значения термина «собака». Если на основе такого понимания делается утверждение, что «все собаки — животные», то это будет как раз то, что Кант называет аналитическим суждением. Оно не включает ничего, кроме отношений значений терминов. Кант, правда, не выражается в точности таким образом, но именно это, в сущности, он имел в виду. С другой стороны, синтетическое утверждение, такое, как «Луна вращается вокруг Земли», обладает фактическим содержанием.

Большинство утверждений науки являются синтетическими потому, что они содержат нечто большее, чем значения, приписываемые их терминам. Они что-то говорят нам о природе мира.

Различие между *априорным и апостериорным* является эпистемологическим различием между двумя видами знания. Кант подразумевает под априорным тот вид знания, который непосредственно не зависит от опыта, но зависит от него в генетическом или психологическом смысле. Он полностью осознавал, что в генетическом смысле все человеческое знание зависит от опыта. Без опыта не может быть, очевидно, никакого знания вообще. Но знания некоторого рода подтверждаются опытом иначе, чем другие. Рассмотрим, например, аналитическое утверждение «все собаки — животные». Чтобы высказать такое утверждение, вовсе не нужно наблюдать собак. Фактически даже нет необходимости, чтобы собаки существовали. Единственное, что нужно для этого, — это понять, что в самом определении «собака» содержится признак «быть животным». Все аналитические утверждения являются априорными в этом смысле. Чтобы обосновать их, не требуется обращаться к опыту. Верно, быть может, что наш опыт с собаками приводит нас к заключению, что все собаки являются животными. В широком смысле слова «опыт», все, что мы знаем, основывается на опыте. Главное, однако, состоит в том, что для обоснования истинности аналитических утверждений никогда не требуется обращаться к опыту. Нет нужды, например, говорить: «Вчера я исследовал несколько собак и несколько животных, не являющихся собаками, затем я исследовал несколько животных и других живых организмов. На основе такого исследования я пришел к заключению, что все собаки — животные». Наоборот, утверждение «все собаки — животные» обосновывается путем указания на то, что в нашем языке термин «собака» понимается как термин, включающий в свое значение признак «быть животным». Таким же способом обосновывается аналитическая истинность утверждения «единорог имеет один рог на голове». Истинность аналитического утверждения вытекает из значений его терминов, без всякой ссылки на какое-либо исследование мира.

В противоположность этому апостериорные утверждения не могут быть обоснованы без обращения к опыту. Рассмотрим, например, утверждение, что Луна вращается вокруг Земли. Его истинность не может быть обоснована путем ссылки на значение таких терминов, как «Луна», «Земля» и «вращается вокруг». Буквально, конечно, «a priori» и «a posteriori» означают «от предшествующего» и «от последующего», но Кант вполне отчетливо разъясняет, что он понимает это не во временнóм смысле. Он не имел в виду, что в апостериорном познании опыт должен встречаться *раньше* приобретаемого знания. В этом смысле опыт, разумеется, предшествует *всякому* знанию. Он считал, что опыт представляет существенное *основание* для утверждения апостериорного знания. Без некоторых специфических опытов (в случае вращения Луны вокруг Земли такими опытами служат различные астрономические наблюдения) невозможно обосновать апостериорное утверждение. Грубо говоря, апостериорное знание в настоящее время следовало бы называть эмпирическим знанием. Это знание существенно зависит от опыта. Априорное же знание независимо от опыта.

Как отмечалось раньше, все аналитические утверждения, несомненно, априорны. Но теперь возникает важный вопрос: совпадает ли граница между априорным и

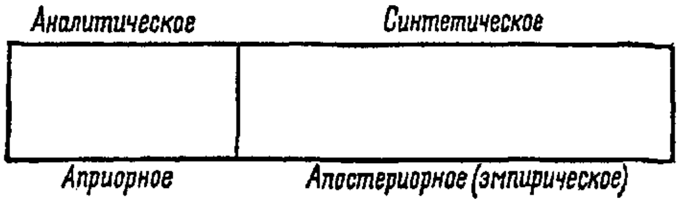


Рис. 18-1.

апостериорным с границей между аналитическим и синтетическим? Если эти две границы совпадают, то они могут быть изображены так, как показано на рис. 18-1.

Но возможно, что эти пограничные линии не совпадают. Линия между априорным и апостериорным не может лежать левее границы между аналитическим и синтетическим (потому что все аналитические утверждения являются также и априорными), но она может лежать

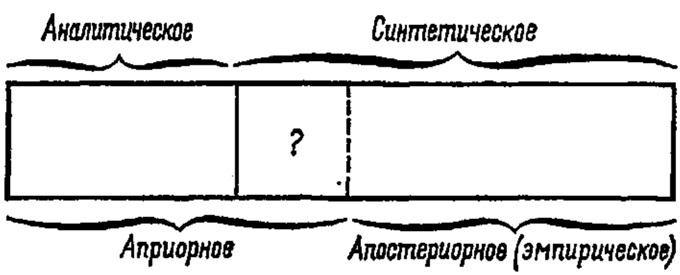


Рис. 18-2.

правее, как показано на рис. 18-2. Если это так, то существует промежуточная область, где синтетическое частично перекрывает априорное. Такова точка зрения Канта. Он утверждал, что существует область познания, которая одновременно является и синтетической и априорной. Такое познание является синтетическим, поскольку оно что-то говорит о мире. В то же время оно априорно, потому что его достоверность может быть установлена способом, не требующим обоснования с помощью опыта. Существует ли такая область познания? Это — один из наиболее спорных вопросов в истории философии науки. Действительно, как однажды заметил Мориц Шлик, эмпиризм можно определить как точку зрения, которая отрицает существование синтетического априорного знания. Если весь эмпиризм должен быть выражен в двух словах, то это есть один из способов осуществления такого требования.

Для Канта геометрия была одним из основных примеров синтетического априорного знания. С его точки зрения, если рассматриваются аксиомы геометрии (под которой он подразумевал евклидову геометрию, ибо никакой другой геометрии не было известно в то время), то невозможно представить эти аксиомы неистинными. Например, существует одна и только одна прямая, проходящая через две точки. Здесь интуиция обеспечивает абсолютную достоверность. Возможно представить прямую линию, соединяющую две точки, но любая другая линия, проходящая через них, должна быть не прямой, а кривой. Таким образом, доказывал Кант, мы имеем право полностью доверять знанию о всех аксиомах геометрии. Поскольку все теоремы логически выводятся из аксиом, мы также обязаны полностью верить в истинность теорем. Следовательно, полная достоверность геометрии выясняется таким способом, который не требует обоснования с помощью опыта. Поэтому нет необходимости изображать точки на листе бумаги и проводить через них различные линии, чтобы установить утверждение, то две точки соединяются единственной прямой. Это обосновывается с помощью интуиции. И хотя геометрические теоремы могут быть очень сложными и неочевидными вообще, они могут быть обоснованы посредством вывода из аксиом с помощью логических шагов, которые также являются интуитивно достоверными.

С другой стороны, продолжает Кант, теоремы геометрии что-то говорят нам о мире. Рассмотрим теорему: сумма внутренних углов треугольника равна 180°. Она может быть логически выведена из аксиом Евклида, поэтому существует априорное знание его истинности. Но верно также и то, что если начертить треугольник и измерить его углы, то окажется, что их сумма составит 180°. Если сумма будет отличаться от этого значения, то более тщательное изучение построения всегда выявит, что линии не были совершенно прямыми или, возможно, измерения были неточными. Следовательно, теоремы геометрии представляют более чем априорные утверждения. Они описывают действительную структуру мира и, таким образом, являются синтетическими. Очевидно, однако, что они не являются апостериорными как естественнонаучные законы. Легко представить, что завтра может наблюдаться событие, которое будет противоречить любому данному научному закону. Нетрудно допустить, что Земля может вращаться вокруг Луны, а не наоборот. И никогда нельзя быть уверенным в том, что завтра наука не может сделать открытий, которые потребуют изменить то, что первоначально предполагалось истинным. Но это не относится к геометрическим законам. Непостижимо, чтобы новые открытия в геометрии могли изменить истинность теоремы Пифагора. Евклидова геометрия интуитивно достоверна, она не зависит от опыта. Кант был убежден, что в геометрии мы имеем замечательный пример объединения синтетического и априорного знания.

С современной точки зрения положение выглядит совершенно иначе. Нельзя порицать Канта за его ошибку, потому что неевклидова геометрия в то время не была еще открыта. Он не мог думать о геометрии иначе. Фактически на протяжении всего девятнадцатого столетия, за исключением отдельных смелых мыслителей, таких, как Гаусс, Риман и Гельмгольц, даже математики принимали кантовскую точку зрения как само собой разумеющуюся. Сегодня легко увидеть источник ошибки Канта. Он состоит в недостаточном уяснении того, что имеются два существенно различных вида геометрий: одна — математическая и другая — физическая.

Математическая геометрия относится к чистой математике. В терминах Канта она действительно является как аналитической, так и априорной. Но нельзя сказать, что она также синтетична. Эта геометрия представляет собой просто дедуктивную систему, базирующуюся на некоторых аксиомах, которые не должны интерпретироваться с помощью какого-либо существующего мира. Это может быть продемонстрировано различными путями, один из которых был указан Бертраном Расселом в его ранней книге «Принципы математики» («The Principles of Mathematics»[1], не смешивать с поздним трудом «Principia Mathematica»). Рассел показывает, что можно определить евклидово пространство исключительно как систему исходных отношений, для которых предполагаются некоторые структурные свойства. Например, одно отношение является симметричным и транзитивным, другое — асимметричным и т. п. На основе таких предположений можно логически вывести систему теорем для евклидова пространства, теорем, охватывающих всю геометрию Евклида. Эта геометрия ничего не говорит о мире вообще. Она только утверждает, что если некоторая система отношений имеет определенные структурные свойства, то эта система будет обладать некоторыми другими характеристиками, которые логически следуют из предполагаемой структуры. Математическая геометрия является теорией логической структуры. Она совершенно независима от естественнонаучных исследований и имеет дело только с логическими следствиями из данной системы аксиом.

Физическая геометрия, с другой стороны, занимается применением чистой геометрии к миру. Здесь термины евклидовой геометрии имеют свое обычное значение. Точка представляет действительное место в физическом пространстве. Конечно, мы не можем непосредственно наблюдать геометрическую точку, но мы можем приближенно представить ее, скажем, с помощью крошечного чернильного пятна на листе бумаги. Подобным же образом мы можем наблюдать и работать с приближенными линиями, плоскостями, кубами и т. п. Эти термины относятся к действительным структурам в физическом пространстве, в котором мы живем, и являются также частью языка чистой или математической геометрии. Следовательно, именно здесь находится первоначальный источник ошибочных представлений ученых девятнадцатого столетия о геометрии. Поскольку естествоиспытатели и чистые математики употребляли одно

[1] См. VI часть книги «Принципы математики» («The Principles of Mathematics», Cambridge, Cambridge University Press, 1903); (изд. 2 с новым введением, London, Allen & Unwin, 1938); (New York, Norton, 1938).

и то же слово «геометрия», то это породило ошибочное мнение, что те и другие используют тот же самый вид геометрии.

Различие между двумя геометриями стало особенно ясным благодаря известной работе по основаниям геометрии Давида Гильберта[1]. «Мы мыслим три различные системы вещей, — писал Гильберт. — Вещи первой системы мы называем *точками* и обозначаем A, B, C, ...; вещи второй системы мы называем *прямыми* и обозначаем a, b, c, ...; вещи третьей системы мы называем *плоскостями* и обозначаем α, β, γ, ...»[2]. Хотя он называет эти объекты такими именами, как «точка», «прямая» и «плоскость», он не приписывает им какого-либо конкретного значения. Эти термины удобны для употребления, потому что они знакомы и дают читателю представление об одной из возможных интерпретаций терминов. Но геометрическая система, которую построил Гильберт, совершенно свободна от какой-либо интерпретации. «Точки», «прямые» и «плоскости» могут рассматриваться как обозначающие три любых класса объектов, которые удовлетворяют отношениям, формулируемым в аксиомах. Например, вместо физических точек, прямых и плоскостей можно интерпретировать «точку» как упорядоченную тройку действительных чисел. «Прямая» будет тогда классом упорядоченных троек действительных чисел, которые удовлетворяют двум линейным уравнениям, а «плоскость» будет классом упорядоченных троек, которые удовлетворяют одному линейному уравнению. В чистой или математической геометрии такие термины, как «точка», «прямая» и «плоскость», не употребляются в обычном смысле. Они имеют бесчисленное множество различных возможных интерпретаций.

Как только это различие между чистой и физической геометрией будет понято, станет ясным, что мнение

---

[1] Книга Гильберта «Основания геометрии» («Grundlagen der Geometrie») впервые была опубликована в Германии в 1899 году. Английский перевод Е. Таунсенда (E. J. Tounsend) был издан в Чикаго в 1902 году. (Русский перевод с 7-го немецкого издания под ред. П. К. Рашевского опубликован в 1948 году. — *Прим. перев.*)

[2] Цит. по: Д. Гильберт, Основания геометрии, М. — Л., 1948, стр. 56.

Канта, как и мнение почти всех философов девятнадцатого века, основывается на принципиальном смешении двух областей совершенно различного характера.

Когда мы говорим, что «геометрия достоверна априори и нельзя сомневаться в истинности ее теорем», мы думаем о математической геометрии. Но предположим, мы добавим фразу: «Она также что-то говорит нам о мире. С ее помощью мы можем предсказать результат измерений реальных геометрических структур». Теперь мы ненамеренно переходим к другому значению геометрии, ибо начинаем говорить о физической геометрии, о структуре реального пространства. Математическая геометрия априорна, физическая геометрия — синтетична. Никакая геометрия не является одновременно априорной и синтетической. Действительно, если принимается эмпирическая точка зрения, не существует какого-либо знания, которое было бы как априорным, так и синтетическим.

Что касается геометрического знания, то различие между двумя видами геометрий является фундаментальным и теперь общепризнанным. Когда происходят споры о природе геометрического знания, то первый вопрос, который следует задать, таков: «Какой вид геометрии вы имеете в виду? Говорите ли вы о математической или физической геометрии?» Ясное различие является здесь существенным, оно позволяет избежать путаницы и понять революционный шаг, сделанный теорией относительности.

Одна из наиболее ясных и точных формулировок этого различия была дана Эйнштейном в его заключительной лекции «Геометрия и опыт»[1]. Эйнштейн говорил о «математике», но он имел в виду геометрию, которая может пониматься в двух смыслах.

«Поскольку теоремы математики касаются действительности, — указывает он, — постольку они недостоверны». В терминологии Канта это означает, что, поскольку они являются синтетическими, они не могут

[1] Лекция Эйнштейна «Геометрия и опыт» была опубликована отдельным изданием («Geometrie und Erfahrung», Berlin, 1921). Позднее она была переведена и включена в книгу: Albert Einstein, Sidelights on Relativity, New York, Dutton, 1923. (Русский перевод см.: А. Эйнштейн, Собрание научных трудов, т. II, «Наука», 1967, стр. 83—94. — *Прим. перев.*)

быть априорными. «И поскольку они достоверны, — продолжает Эйнштейн, — они не относятся к действительности». В кантовской терминологии, поскольку теоремы априорны, они не являются синтетическими.

Кант утверждал, что априорное знание есть достоверное знание, которое не может противоречить опыту. Теория относительности сделала ясным для всех, кто ее понимает, что, если геометрия рассматривается в этом априорном смысле, она ничего не говорит о действительности. Невозможно никакое утверждение, которое сочетало бы логическую достоверность со знанием геометрической структуры мира.

Часть IV

ПРИЧИННОСТЬ И ДЕТЕРМИНИЗМ

Глава 19

ПРИЧИННОСТЬ

Понятие причинности — одна из центральных проблем в современной философии науки — привлекало внимание различных философов, начиная с античной Греции и кончая нашими днями. Раньше это понятие составляло раздел науки, которую называли философией природы. Эта область охватывала как эмпирическое исследование природы, так и философский анализ такого познания. В настоящее время становится все более очевидным, что исследование природы составляет задачу ученого-эмпирика, а не задачу философа как такового.

Конечно, философ может быть одновременно и ученым. Но в таком случае он должен сознавать фундаментальное различие между двумя родами вопросов, которые он может исследовать. Если он задается такими вопросами: «Как образовались лунные кратеры?» или «Существуют ли галактики, построенные из антиматерии?», то он выдвигает вопросы для астронома и физика. С другой стороны, если его вопрос касается не природы мира, а анализа фундаментальных понятий науки, то он предлагает вопрос для философии науки.

В предшествующие эпохи философы верили в существование метафизики природы, области познания более глубокой и фундаментальной, чем любая эмпирическая наука. В связи с этим задача философа состояла в интерпретации метафизических истин. Современные философы науки не верят в существование такой метафизики. Старая философия природы была заменена философией науки. Эта новая философия не имеет дела ни с открытием фактов и законов (задача, которую должен решать ученый-эмпирик), ни с метафизическими рассуждениями о мире. Вместо этого она обращает свое внимание на саму науку, исследуя понятия и методы, которые в ней используются, их возможные результаты, формы суждений и типы логики, которые в ней применяются. Иными словами, она рассматривает проблемы такого рода, которые обсуждаются в этой книге. Философ науки исследует философские (то есть логические и методологические) основания психологии, а не «природу мысли». Он изучает философские основания антропологии, а не «природу культуры». В каждой области науки он в основном имеет дело с понятиями и методами этой области.

Некоторые философы предостерегают против слишком резкого разграничения работы ученых в определенной области и работы философа науки, имеющего отношение к этой области. В известном смысле такое предостережение правильно. Хотя следует всегда отличать работу ученого-эмпирика от деятельности философа науки, на практике эти две области обычно перекрещиваются. Творчески работающий физик постоянно сталкивается с методологическими вопросами. Какого рода понятия он должен использовать? Какие правила регулируют эти понятия? С помощью какого логического метода он может определить эти понятия? Как может он объединить эти понятия в суждения, а суждения — в логически связанную систему или теорию? На все эти вопросы он должен отвечать как философ науки. Очевидно, что на них нельзя ответить с помощью эмпирической процедуры. С другой стороны, нельзя сделать значительную работу в философии науки без основательного знания эмпирических результатов науки. В этой книге пришлось, например, подробно говорить о некоторых специфических чертах теории относительности. Другие детали этой теории не обсуждались, потому что сама теория привлекалась главным образом для того, чтобы разъяснить важное отличие между эмпирической геометрией и чистой или математической геометрией. Если исследователь в области философии науки не будет основательно понимать науку, он не сможет даже ставить важные вопросы о ее понятиях и методах.

Мои рассуждения об отличии задач философа науки от метафизических задач его предшественника — философа природы — имеют важное значение для анализа причинности, являющейся темой этой главы. Старые философы имели дело с метафизической природой самой причинности. Наша задача здесь состоит в том, чтобы изучить, как ученые в эмпирических науках используют понятие причинности, сделать совершенно ясным, что они имеют в виду, когда говорят: «Это есть причина того». Что означает в точности отношение причины — следствия? В повседневной жизни это понятие, конечно, остается неопределенным. Даже в науке часто оказывается неясным, что имеет в виду ученый, когда говорит, что одно событие «вызвало» (caused) другое. Одна из наиболее важных задач философии науки состоит в том, чтобы проанализировать понятие причинности и разъяснить его значение.

Даже историческое возникновение понятия причинности остается точно не выясненным. По-видимому, оно возникло как проекция человеческого опыта на мир природы. Когда мы толкаем стол, то чувствуем напряжение в мускулах. Если нечто подобное наблюдается в мире, когда, например, один бильярдный шар ударяет другой, легко представить аналогию между ударом шаров и толканием стола. Ударяющий шар является действующей силой. Он что-то *делает* с другим шаром, который начинает двигаться. Легко видеть, как люди примитивной культуры могли вообразить, что элементы природы являются одушевленными, как и они сами, благодаря душе, которая хочет, чтобы происходили некоторые вещи. Это особенно понятно по отношению к таким явлениям природы, которые вызывают большой ущерб. Гора будет ответственна за причинение обвала, а ураган — за разрушение деревни.

В настоящее время такой антропоморфический подход к природе больше не встречается среди цивилизованных людей и, конечно, среди ученых. Тем не менее элементы анимистического мышления продолжают сохраняться. Камень разбивает окно. Было ли это намерением камня? Конечно, нет, скажет ученый. Камень есть камень. Он не обладает никаким душевным стремлением. С другой стороны, большинство людей, даже сами ученые, не колеблясь скажут, что событие b, разбитие окна, было *вызвано* событием a, ударом камня о стекло. Что имеет в виду ученый, когда говорит, что событие b вызвано событием a? Он может сказать, что событие a «вызвало» или «произвело» событие b. Поэтому вы видите, что когда он пытается объяснить значение «причины», то обращается к таким фразам, как «производит», «вызывает», «создает», «творит». Все они представляют метафорические фразы, взятые из человеческой деятельности. Человеческая деятельность может в буквальном смысле вызывать, творить и производить различные другие события. Но в случае камня эти выражения нельзя брать буквально. Они не являются вполне удовлетворительным ответом на вопрос: «Что имеют в виду, когда говорят, что одно событие есть причина другого?»

Важно проанализировать это неясное понятие причинности, очистить его от всех старых, ненаучных компонентов, которые могут входить в него. Но сначала следует уяснить один важный пункт. Я не считаю, что имеется какое-либо основание отрицать понятие причинности. Некоторые философы утверждают, что Давид Юм в своей известной критике причинности отрицал понятие причинности in toto (в целом). Я не считаю, что это было действительным намерением Юма. Он не имел в виду отрицать понятие причинности, а хотел лишь очистить его. Позднее этот вопрос будет рассмотрен снова, но теперь я хочу сказать, что Юм отрицал только компонент необходимости в понятии причинности. Его анализ велся в правильном направлении, хотя, по мнению современных философов науки, он не заходил достаточно далеко и не был достаточно ясным. По моему мнению, нет необходимости рассматривать причинность как донаучное понятие, метафизическое в худшем смысле слова и, следовательно, подлежащее устранению. После того как понятие будет проанализировано и полностью разъяснено, выяснится, что оно содержит нечто, что может быть названо причинностью. Это нечто как раз и обосновывает его использование в течение столетий как учеными, так и в повседневной жизни.

Мы начнем анализ с вопроса: между какого рода объектами существует причинное отношение? Строго говоря, это не *вещь*, которая вызывает событие, а процесс. В повседневной жизни мы говорим, что некоторые вещи служат причиной событий. То, что действительно мы подразумеваем здесь, это то, что некоторые процессы или события служат причиной других процессов или событий. Мы говорим, что солнце — причина роста растений. На самом деле мы имеем в виду, что причина — процесс солнечной радиации. Но если мы рассматриваем «процессы» или «события» как объекты, входящие в отношение причины и следствия, то мы должны определить эти термины в очень широком смысле. Мы должны включить сюда, хотя этого мы *не* делаем в повседневной жизни, процессы, которые являются статическими.

Рассмотрим, например, стол. Я не могу заметить каких-либо изменений в нем. Вчера он мог изменить свое положение, в будущем он сломается или разрушится, но в данный момент я не вижу никаких изменений. Можно предположить, что его температура, масса, даже отражение света от его поверхности и т. п. остаются неизменными в течение некоторого периода времени. Это событие — существование стола без изменений — представляет также процесс. Это *статический* процесс, в котором относящиеся к нему величины остаются постоянными с течением времени. Если говорят о процессах или событиях, входящих в отношение причины — следствия, мы должны признать, что эти термины включают и статические процессы. Они обозначают любую последовательность состояний физической системы, как изменяющихся, так и неизменных.

Часто говорят, что *обстоятельства* или *условия* образуют причины или следствия. Это также допустимый способ речи, и здесь не существует никакой опасности брать термин в слишком узком смысле, потому что статическое или постоянное условие также представляет условие. Предположим, что мы исследуем причину столкновения двух автомобилей на шоссе. Мы должны изучить не только изменяющиеся условия — как двигались автомобили, поведение шоферов и т. п., — но также условия, которые оставались постоянными в момент столкновения. Мы должны проверить состояние поверхности дороги. Была ли она влажной или сухой? Не светило ли солнце прямо в лицо одному из шоферов? Такого рода вопросы могут также оказаться важными для определения причин катастрофы. Для полного анализа причин мы должны исследовать все относящиеся к нему условия, как постоянные, так и изменяющиеся. Может оказаться, что на конечный результат повлияет множество различных факторов.

Когда умирает человек, доктор должен установить причину смерти. Он может написать «туберкулез», как если бы существовала только одна причина смерти. В повседневной жизни мы часто требуем отдельной причины для события — *определенной* причины смерти, *определенной* причины столкновения. Но когда мы исследуем ситуацию более тщательно, мы обнаружим, что могут быть даны многие ответы, зависящие от точки зрения, с которой выдвигается вопрос. Автодорожный инженер может сказать: «Да, я много раз до этого говорил, что это плохое покрытие для шоссе. Оно становится очень скользким, когда оно сырое. Теперь мы имеем еще одно происшествие, которое доказывает это!» По мнению инженера, несчастный случай имел причиной скользкость дороги. Он интересуется событием со *своей* точки зрения. Он выделяет это как *определенную* причину. В одном отношении он прав. Если бы последовали его совету и дорога имела бы другую поверхность, она не была бы такой скользкой. Другие вещи оставались бы теми же самыми, и несчастья могло бы не случиться. Трудно быть уверенным в этом в любом частном случае, но по крайней мере имеется хорошая возможность того, что инженер прав. Когда он утверждает, что «это есть причина», он имеет в виду следующее: это представляет важное условие такого рода, что если бы его не было, то несчастного случая не произошло бы.

Другие люди, когда их спросят о причине происшествия, могут упомянуть другие условия. Дорожная полиция, которая изучает причины уличных происшествий, захочет знать, нарушали ли водители какие-либо дорожные правила. Ее работа состоит в наблюдении за такими действиями, и если она обнаружит, что правила нарушались, то будет считать нарушение причиной катастрофы. Психолог, который опросит одного из шоферов, может заключить, что шофер был в состоянии тревоги. Он был так глубоко охвачен беспокойством, что не мог быть достаточно внимательным при приближении к другой машине на перекрестке. Психолог может сказать, что тревожное состояние человека было причиной катастрофы. Он выделяет этот фактор, интересующий его больше всего из всей полной ситуации. Для него это интересная, решающая причина. Он также может быть прав, потому что, если бы человек не был в состоянии тревоги, несчастного случая могло бы не быть или даже, вероятно, не было бы. Инженер по автомобильным конструкциям может найти другую причину, такую, как дефект конструкции одного из автомобилей. Механик гаража может указать на неисправность тормозов одного из автомобилей. Каждое лицо, смотря на всю картину со своей точки зрения, может обнаружить некоторое условие, такое, что оно может точно сказать: если бы такого условия не существовало, то происшествия бы не случилось.

Ни один из этих людей не может, однако, ответить на более общий вопрос: что послужило *определенной* причиной происшествия? Они дают только множество различных частных ответов, указывая на специальные условия, которые могли повлиять на окончательный результат. Никакая отдельная причина не может быть выделена как *определенная* причина. В самом деле, ведь это же очевидно, что никакой *определенной* причины здесь не существует. Существует много компонентов, относящихся к сложной ситуации, каждый из которых влияет на происшествие в том смысле, что если бы этот компонент отсутствовал, то катастрофа могла бы не произойти. Если должно быть найдено причинное отношение между происшествием и предыдущим событием, то это предыдущее событие должно быть *полной* предыдущей ситуацией. Когда говорят, что эта ситуация является «причиной» происшествия, имеют в виду то, что если бы предыдущая ситуация была дана со всеми ее деталями и относящимися к ней законами, то происшествие могло бы быть предсказано. Никто в действительности, конечно, не знает и не может знать *все* факты и относящиеся к ним законы. Но *если бы* кто-то это знал, он мог бы предсказать столкновение. «Относящиеся к делу законы» включают не только законы физики и технологии (относящиеся к трению на дорогие, движению автомобилей, операции торможения и т. п.), но также физиологические и психологические законы. Знание всех этих законов, так же как относящихся сюда отдельных фактов, должно предполагаться до того, как можно будет предсказать результат.

Итог такого анализа можно резюмировать следующим образом: *причинное отношение означает предсказуемость*. Это не означает действительную предсказуемость, потому что никто не может знать всех относящихся к событию фактов и законов. Оно означает предсказуемость в том смысле, что, *если* полная предыдущая ситуация будет известна, событие может быть предсказано. По этой причине, когда я употребляю термин «предсказуемость», я беру его в известном метафорическом смысле. Она не означает возможности действительного предсказания кем-либо события, а скорее, потенциальную предсказуемость. Если будут даны все относящиеся к событию факты и законы природы, возможно предсказать это событие до того, как оно случится. Это предсказание является логическим следствием фактов и законов. Иными словами, существует логическое отношение между полным описанием предыдущих условий, относящихся к ним законов и предсказанием события.

Отдельные факты, входящие в предыдущую ситуацию, в принципе могут быть известными. (Мы игнорируем здесь практическую трудность получения всех фактов, так же как принципиальные границы, налагаемые квантовой теорией на знание всех факторов на внутриатомном уровне.) В отношении знания соответствующих законов возникает еще более широкая проблема. Когда причинное отношение определяется путем утверждения, что событие может быть логически выведено из совокупности фактов и законов, то что́ здесь подразумевается под «законами»? Возникает искушение сказать, что под ними подразумеваются все те законы, которые можно найти в учебниках по различным наукам и которые связаны с ситуацией, более точно, все относящиеся к событию законы, которые известны в данное время. На формальном языке, событие Y в момент времени T вызывается предшествующим событием X, если и только если Y выводимо из X с помощью законов L_T, известных в момент T.

Легко видеть, что это не очень полезное определение причинного отношения. Рассмотрим следующий противоречащий пример. Существует исторический отчет о событии B, которое произошло в древние времена, вслед за событием A. В момент времени T_1 люди не могли объяснить B. Теперь B может быть объяснено с помощью некоторых законов L^* путем демонстрации того, что B логически следует из A и L^*. Но в момент времени T_1 законы L^* были неизвестны и, следовательно, событие B не могло быть объяснено как результат события A. Предположим, что в момент времени T_1 ученый выдвигал в качестве гипотезы утверждение, что событие B вызывалось событием A. Оглядываясь назад, можно сказать, что эта гипотеза была истинной, хотя ученый не мог доказать ее. Он был не в состоянии доказать ее, потому что законы, которые были известны ему, L_{T_1} не включали законов L^*, которые являются существенными для доказательства. Однако, если принять определение причинного отношения, предложенное в предыдущем параграфе, необходимо сказать, что утверждение ученого было ложно. Оно ложно потому, что он не был в состоянии вывести B из A и L_{T_1}. Иными словами, его утверждение должно быть названо ложным, даже если сейчас известно, что оно истинно.

Неадекватность предложенного определения выявляется также тогда, когда мы размышляем о том факте, что современное знание законов науки весьма далеко от полноты. Современные ученые знают гораздо больше, чем ученые любой предыдущей эпохи, но, конечно, они знают меньше, чем будут знать (если цивилизация не будет разрушена катастрофой) ученые через сотни лет. Никогда наука не будет обладать полным знанием всех законов природы. Однако, как было показано раньше, чтобы получить адекватное определение причинности, следует обратиться скорее к целой системе законов, чем к тем законам, которые известны в какое-либо определенное время.

Что имеют в виду, когда говорят, что событие *B* имет причиной событие *A*? Существуют ли определенные законы природы, из которых событие *B* может быть логически выведено, когда они объединяются с полным описанием события *A*? Существенно или несущественно то, что могут быть установлены законы *L*? Конечно, это существенно, если требуется доказательство *истинности* утверждения. Но это не существенно для придания *смысла* утверждению. Вот что делает анализ причинности такой трудной, ненадежной задачей. Когда говорят о причинной связи, то всегда неявно имеют в виду несформулированные законы природы. Было бы чересчур точным и слишком необычным для повседневного использования требовать, чтобы всякий раз, когда кто-то утверждает, что «*A* есть причина *B*», он был в состоянии охарактеризовать все относящиеся сюда законы. Конечно, если он может установить все относящиеся сюда законы, то он докажет свое утверждение. Но такого доказательства нельзя требовать до установления осмысленности утверждения.

Допустим, что заключается пари, что через четыре недели будет дождь. Никто не знает, является ли это предсказание истинным или ложным. Прежде чем можно будет решить этот вопрос, должно пройти четыре недели. Тем не менее очевидно, что предсказание является осмысленным. Эмпирики, конечно, правы, когда говорят, что не существует никакого значения утверждения, если не имеется, хотя бы в принципе, возможности нахождения свидетельств, подтверждающих или опровергающих это утверждение. Но это не значит, что утверждение осмысленно, если и только если возможно разрешить вопрос о его истинности *сегодня*. Предсказание дождя осмысленно, хотя его истинность или ложность не может быть установлена сегодня. Утверждение, что *A* есть причина *B*, также является осмысленным, хотя говорящий может быть не в состоянии охарактеризовать законы, необходимые для доказательства утверждения. Это значит только, что *если бы* все факты, относящиеся к *A*, вместе со всеми законами были известны, то появление *B* могло бы быть предсказано.

Здесь возникает трудный вопрос. Вытекает ли из такого определения отношения причины и следствия, что результат с *необходимостью* следует из причины? В определении ничего не говорится о необходимости. Оно просто утверждает, что событие B может быть предсказано, если все относящиеся к нему факты и законы будут известны. Но, вероятно, это уход от вопроса. Метафизик, который желает ввести необходимость в определение причинности, может аргументировать так: «Верно, что слово «необходимость» здесь не употребляется. Но зато говорится о законах, а законы представляют собой утверждения необходимости. Следовательно, необходимость в конечном счете входит сюда. Она является обязательной составной частью любого утверждения о причинной связи».

В следующей главе мы рассмотрим, что можно будет сказать в ответ на такие аргументы.

Глава 20

ВКЛЮЧАЕТ ЛИ ПРИЧИННОСТЬ НЕОБХОДИМОСТЬ?

Включают ли законы необходимость? Эмпирики иногда формулируют свою позицию следующим образом: закон является просто условным утверждением универсального характера, потому что он говорит об общем. «В любое время, в любом месте, если физическое тело или система будут находиться в некотором состоянии, они перейдут в некоторое другое специфическое состояние». Это условное утверждение общего характера относительно времени и пространства. Такой подход иногда называют «кондиционализмом». Причинный закон просто устанавливает, что всякий раз, когда происходит событие вида P (P обозначает здесь не отдельное событие, а целый класс событий определенного вида), то будет следовать событие вида Q. В символической форме

$$(x)(Px \supset Qx). \qquad (1)$$

Это высказывание утверждает, что в любой пространственно-временной точке x, если имеет место P, то будет выполняться условие Q.

Некоторые философы энергично возражают против такого взгляда. Они считают, что закон природы означает гораздо большее, чем просто условное утверждение универсального характера формы «если — тогда». Чтобы понять их возражение, необходимо точно рассмотреть, что понимают под высказываниями условной формы. Вместо общего утверждения (1) рассмотрим частный его случай для пространственно-временной точки *a*.

$$Pa \supset Qa. \qquad (2)$$

Значение этого утверждения, «если в *a* происходит *P*, то в ней происходит и *Q*», дается его таблицей истинности. Существуют четыре возможные комбинации значений истинности для двух компонентов утверждения.

1. *Pa* — истинно, *Qa* — истинно.
2. *Pa* — истинно, *Qa* — ложно.
3. *Pa* — ложно, *Qa* — истинно.
4. *Pa* — ложно, *Qa* — ложно.

Знак импликации «$\supset$» должен пониматься таким образом, чтобы (2) устанавливало, что только вторая комбинация значений истинности не выполняется. Этот знак ничего не говорит о причинной связи между *Pa* и *Qa*. Если *Pa* ложно, то условное высказывание выполняется независимо от того, является ли *Qa* истинным или ложным. А если *Qa* истинно, то оно выполняется независимо от истинности или ложности *Pa*. Оно не выполняется только тогда, когда *Pa* истинно, а *Qa* ложно.

Очевидно, что это не сильная интерпретация закона. Когда говорят, например, что железо расширяется, когда оно нагревается, то не означает *ли* это нечто большее, чем простую констатацию факта, что одно событие следует за другим? Можно ведь также сказать, что, когда железо нагревается, Земля будет вращаться. Это также условное утверждение, но оно не будет называться законом, потому что нет основания верить, что вращение Земли имеет какую-то связь с нагреванием куска железа. С другой стороны, когда закон формулируется в условной форме, не выражает ли он наряду со значением компонент, которые устанавливают некоторого рода связь между двумя событиями, нечто большее, чем простой факт, что, когда встречается одно событие, оно будет сопровождаться другим событием?

Верно, что, когда говорят о законе, то обычно имеют в виду нечто большее, но, что означает это «большее», трудно анализировать. Здесь мы сталкиваемся с проблемой точного выявления «познавательного содержания» какого-либо утверждения. Познавательное содержание составляет то, что высказывается в утверждении и что способно быть либо истинным, либо ложным. Часто крайне трудно решить, что принадлежит к познавательному содержанию утверждения в целом и что — к значению его компонентов, которые не имеют отношения к познавательному содержанию всего утверждения.

Иллюстрацией такого рода неопределенности является случай в суде, когда один свидетель говорит: «К несчастью, грузовик ударил мистера Смита и сломал ему левое бедро». Другой свидетель дает показания, которые ясно указывают, что предыдущий свидетель не считал это «несчастьем» вообще. В действительности он был очень доволен видеть мистера Смита раненым. Лгал ли он или нет, когда употреблял слово «к несчастью»? Если установят, что свидетель не сожалеет о происшедшем случае, то, очевидно, он использовал слово «к несчастью», чтобы обмануть других. *С этой точки зрения* можно сказать, что он лжет. Но с точки зрения суда, предполагающего, что утверждение было сделано под присягой, на вопрос о ложности свидетельства трудно ответить. Возможно, что судья решит, что употребление слова «к несчастью» не имеет никакого отношения к реальному содержанию утверждения. Грузовик ударил мистера Смита и сломал ему бедро. Свидетель говорил об этом как о несчастье, чтобы произвести впечатление, что он сожалеет о случившемся, хотя фактически он этого не чувствует. Но это не существенно для его основного утверждения.

Если бы свидетель сказал: «Мистера Смита ударил грузовик, и я очень сожалею, что это случилось с ним», тогда его утверждение о сожалении было бы более явным и, возможно, вопрос о лжесвидетельстве был бы более уместным. В любом случае обнаруживается, что часто нелегко решить, что принадлежит к познавательному содержанию утверждения, а что просто представляет фактор непознавательного рода. Язык имеет грамматику, но он не имеет правил, чтобы охарактеризовать то, что имеет отношение к значению истинности предложения. Если кто-то говорит «к несчастью», когда он фактически не чувствует никакого сожаления, является ли его утверждение ложным? Ни в словаре, ни в грамматике языка не существует ничего такого, что помогло бы ответить на этот вопрос. Лингвисты могут лишь описывать то, как обычно культурные люди понимают некоторые утверждения. Они не могут создать правил для решения вопроса в каждом данном случае. При отсутствии таких правил невозможно сделать точный анализ познавательного содержания некоторых неопределенных утверждений.

Точно та же трудность возникает при попытке решить, представляет ли предложение вида «(x) $(Px \supset Qx)$» полную формулировку закона или же оно оставляет вне поля зрения что-то существенное. С тех пор как философы науки начали формулировать законы с помощью символа материальной импликации «$\supset$», стали раздаваться голоса против такой формулировки. Чтобы назвать нечто «законом природы», утверждают некоторые философы, мы должны сказать нечто большее, чем констатировать, что одно событие сопровождается другим. Закон предполагает, что второе событие *должно* следовать из первого. Существует некоторого рода *необходимая* связь между P и Q. Прежде чем это возражение может быть полностью оценено, мы должны сначала точно выяснить, чтó эти философы понимают под «необходимостью» и принадлежит ли это значение к познавательному содержанию утверждения о законе.

Многие философы пытались объяснить, чтó они понимают под «необходимостью», когда она применяется к законам природы. Один немецкий философ, Бернард Бавинк, пошел при этом так далеко, что в своей работе «Результаты и проблемы естествознания» утверждал, что необходимость в законах природы представляет логическую необходимость. Большинство философов науки отрицают это. По моему мнению, это совершенно ошибочно. «Логическая необходимость» означает «логическую правильность». Утверждение является логически правильным, если только оно ничего не говорит о мире. Оно верно просто благодаря значению терминов, встречающихся в утверждении. Но законы природы являются условными, то есть для любого закона весьма легко дать внутренне непротиворечивое описание такой последовательности процессов, которая нарушала бы его.

Рассмотрим закон: «Когда железо нагревается, оно расширяется». Другой закон утверждает: «Когда железо нагревается, оно сжимается». Во втором законе не существует никакого логического противоречия. С точки зрения чистой логики он так же правилен, как и первый закон. Но первый закон принимается скорее, чем второй, потому что он описывает регулярность, *наблюдаемую в природе.* Законы логики могут быть открыты логиком, сидящим за письменным столом и пишущим знаки на бумаге или даже думающим о них с закрытыми глазами. Никакой закон природы не может быть открыт подобным образом. Законы природы могут быть открыты только путем наблюдения мира и описания его регулярностей. Поскольку закон утверждает, что регулярность имеет место во все времена, он должен быть гипотетическим (tentative) утверждением. Он всегда может оказаться ошибочным благодаря будущим наблюдениям. Законы же логики будут выполняться при всех рассматриваемых условиях. Если существует необходимость в законах природы, она, конечно, не является логической необходимостью.

Что может философ иметь в виду, когда он говорит о необходимости в законе природы? Возможно, он скажет: «Я имеют в виду то, что, когда происходит P, не может не последовать Q. Оно *должно* произойти. И это не может быть иначе». Но такие выражения, как «должно произойти» и «не может быть иначе», являются только другими способами выражения «необходимости», и все еще не ясно, что под ними подразумевается. Конечно, философ не будет отрицать условного утверждения $(x)(Px \supset Qx)$. Он соглашается, что при формулировании закона такие утверждения всегда предполагаются, но он находит их слишком слабыми для выражения закона. Поэтому он хочет усилить их.

Чтобы разъяснить этот вопрос, предположим, что имеются два физика, каждый из которых обладает тем же самым фактическим знанием и каждый из которых также опирается на ту же систему законов. Физик I составляет список этих законов, выражая их в универсальной условной форме (x) $(Px \supset Qx)$. Он довольствуется такой формулировкой и не хочет добавлять к ней ничего.

Физик II составляет тот же самый список законов, формулируя их в той же универсальной форме, но в каждом случае он добавляет: «И это выполняется с необходимостью». Эти два списка будут иметь следующую форму:

Физик I

Закон 1: $(x)(Px \supset Qx)$.
Закон 2: $(x)(Rx \supset Sx)$.

. . . .

Физик II

Закон 1: $(x)(Px \supset Qx)$, и выполняется с необходимостью.
Закон 2: $(x)(Rx \supset Sx)$, и выполняется с необходимостью.

. . . .

Существует ли какое-либо различие между этими двумя системами законов, если рассматривать их познавательное значение? Чтобы ответить на это, необходимо показать, имеется ли какой-либо способ проверить, что одна система законов превосходит другую. Это в свою очередь равносильно тому, что спросить, существует ли различие в степени предсказания наблюдаемых событий двумя системами?

Предположим, что два физика одинаково оценивают сегодняшнюю погоду, так как располагают теми же самыми данными. На основе этой информации, вместе с соответствующими системами законов, они предсказывают погоду на завтра в Лос-Анджелесе. Поскольку при предсказании они используют те же самые факты и законы, то, конечно, их предсказания будут одинаковыми. Может ли физик II с точки зрения того факта, что после каждого закона он добавляет: «И это выполняется с необходимостью», сделать лучшее предсказание, чем физик I? Очевидно, не может. Его дополнения к законам ничего не говорят о наблюдаемых чертах предсказываемых явлений.

Физик I говорит: «Если P, то Q. Сегодня имеется P; следовательно, завтра будет Q». Физик II говорит: «Если P, то Q, и это выполняется с необходимостью. Сегодня имеется P, следовательно, завтра будет Q, скажем гроза. Но в Лос-Анджелесе завтра не только будет гроза, она обязательно *должна* быть». Назавтра, если случится гроза, оба физика будут довольны успехом. Если грозы не будет, они скажут: «Посмотрим, можем ли мы найти источник нашей ошибки. Возможно, наши данные были неполными или ошибочными. Возможно, что один из наших законов неправилен». Но существует ли какая-либо возможность, на основе которой физик II может сделать предсказание, которое не в состоянии сделать физик I? Очевидно, нет. Дополнение, которое делает физик II в списке законов, совершенно не влияет на возможность предсказания. Он верит, что его законы *сильнее*, что они говорят больше, чем законы его соперника. Но они являются более сильными только с точки зрения того эмоционального чувства необходимости, которое вызывают в сознании физика II. Но они, конечно, не сильнее по своему познавательному значению, потому что познавательное значение закона характеризуется возможностями его предсказания.

Верно, однако, то, что законы физика II не могут предсказать что-то большее не только при их фактической проверке, но также и в *принципе*. Даже если мы допускаем гипотетические погодные условия — странные условия, которые никогда не встречаются на земле, но которые можно себе представить, — все же оба физика будут делать одинаковые предсказания на основе тех же самых фактов и соответствующего списка законов. По этим причинам сторонники эмпиризма придерживаются той позиции, что второй физик ничего существенного не добавил к своим законам.

Это, по сути дела, позиция, которой придерживался в восемнадцатом столетии Давид Юм. В своей известной критике причинности он доказывал, что не имеется никакого основания для предположения, что внутренняя «необходимость» входит в какую-либо причинную связь, наблюдаемую на опыте. Вы наблюдаете событие *A*, затем — событие *B*. То, что вы наблюдаете, представляет не больше как последовательность событий во времени, одного после другого. Никакая «необходимость» не наблюдается. Если вы ее не наблюдаете, говорит в заключение Юм, то не должны говорить о ней. Она не добавляет никакого значения к описанию ваших наблюдений. Юмовский анализ причинности, вероятно, не является совсем ясным или точным во всех деталях, но, по моему мнению, в основном он правилен. Кроме того, большая заслуга Юма состоит в концентрации внимания последующих философов на том, что раньше причинность анализировалась неадекватно.

Начиная с Юма наиболее важные работы по анализу причинности, выполненные Махом, Пуанкаре, Расселом, Шликом и другими, все сильнее подтверждали юмовский кондиционалистский взгляд. Утверждение о причинной связи является условным утверждением. Оно описывает регулярность, наблюдаемую в природе, но не больше.

Обратимся теперь к другому аспекту причинности, важному отношению, которое отличает причинность от других отношений. В большинстве случаев, чтобы определить, выполняется ли отношение *R* для события или объекта *A* и события или объекта *B*, мы просто тщательно изучаем *A* и *B*, чтобы увидеть, существует ли между ними отношение *R*. Будет ли здание *A* выше, чем здание *B*? Мы сравниваем два здания и приходим к соответствующему заключению. Будут ли обои *C* более темного синего цвета, чем обои *D*? Нет необходимости проверять другие образцы обоев, чтобы ответить на этот вопрос. Мы исследуем *C* и *D* при нормальном освещении и приходим к ответу на основе нашего понимания того, что подразумевают под «более темным синим цветом». Является ли *E* братом *F*? Возможно, что они не знают, что они братья. В таком случае мы должны изучить их предшествующую историю. Мы обращаемся к их прошлому и пытаемся определить, имели ли они тех же родителей. Важная особенность, которая характерна для всех этих примеров, состоит в том, что нам нет необходимости изучать другие случаи. Мы изучаем только случай, находящийся под рукой, чтобы определить, выполняется ли для него некоторое отношение. Иногда это определить легко, иногда — крайне трудно, но нам нет нужды исследовать другие случаи, чтобы решить, выполняется ли это отношение для рассматриваемого случая.

Относительно причинной связи дело обстоит иначе. Чтобы определить, существует ли некоторое причинное отношение между *A* и *B*, недостаточно просто определить отношение и затем исследовать пару событий, то есть теоретически этого недостаточно. На практике, поскольку мы располагаем множеством данных о других событиях, не всегда нужно исследовать другие события для того, чтобы сказать, что между *А* и *В* существует причинное отношение. Законы, относящиеся к рассматриваемому случаю, могут быть настолько очевидными, такими общеизвестными, что они молчаливо предполагаются всеми. Но при этом забывают, что законы принимаются только потому, что многократно наблюдались предшествующие случаи, в которых осуществляется это причинное отношение.

Предположим, я вижу, как камень движется к окну, ударяется об оконное стекло и затем стекло раскалывается на тысячи кусков. Был ли удар камня причиной разрушения стекла? Я вижу, что да. Вы спросите: откуда вы знаете это? Я отвечу: это очевидно. Я видел, как камень ударился в окно. Что еще могло вызвать разрушение стекла? Но заметьте, что в самой моей фразе «что еще» поднимается вопрос о знании других событий, сходных с событием в рассматриваемом случае. С раннего детства мы наблюдаем сотни случаев, когда стекло раскалывается от сильного удара какого-либо рода. Мы так привыкли к такой последовательности событий, что, когда видим камень, летящий к окну, предсказываем разрушение стекла даже до того, как это случится. Камень ударяет по стеклу, и стекло раскалывается. Мы считаем само собой разумеющимся, что удар камня разбивает стекло.

Но, думаете, так легко это решить путем наблюдения. Вы смотрите по телевизору ковбойский фильм и видите, как бандит целится из пистолета в другого человека и нажимает курок. Раздается звук выстрела, и человек падает мертвым. Почему он упал? Потому что он был убит пулей. Но не было никакой пули. Даже звук выстрела может быть подобран после, когда озвучивают фильм. Причинная последовательность, которую вы наблюдали, была целиком иллюзорной. Ее не было вообще.

В случае камня и окна возможно допустить, что камень ударяет по твердой невидимой пластмассовой поверхности перед окном. Поверхность не разрушается. Но именно тогда, когда камень ударяется об эту поверхность, кто-то в доме, чтобы обмануть вас, разбивает окно каким-либо другим способом. Тогда, вероятно, чтобы обмануть, надо заставить верить, что данная причинная связь существует, когда ее в действительности нет. Однако в рассматриваемом случае такой обман исключается как невероятный. Наблюдение сходных событий в прошлом делает правдоподобным заключение, что это еще один случай, когда стекло может быть разбито движущимся телом. Если возникает подозрение в обмане, то производится более тщательное исследование случая.

Существенным здесь является следующее: наблюдаем ли мы случай поверхностно и заключаем, что камень действительно разбил стекло, или же подозреваем обман и изучаем случай более подробно; мы всегда делаем больше, чем изучаем один случай. Для подтверждения мы приводим сотни других случаев подобного рода, которые наблюдались в прошлом. Никогда нельзя говорить о причинной связи на основе наблюдения только одного случая. Еще детьми мы видим, что существует временная последовательность в вещах. Постепенно, с годами у нас возникает впечатление о некоторой регулярности, которая встречается в нашем опыте. Падает рюмка и разбивается. Бейсбольный мяч ударяет по стеклу автомобиля, и стекло дает трещину. Кроме того, существуют сотни подобных наблюдений, в которых хрупкий материал, сходный со стеклом, например фарфоровая сахарница, разрушается под действием удара. Без таких наблюдений взаимодействие камня и оконного стекла нельзя было бы интерпретировать как причинную связь.

Предположим, что когда-то в будущем все оконные стекла будут изготовляться так, что они смогут быть разбиты только звуком очень высокой частоты. Если это знание будет составлять основу нашего опыта и мы увидим оконное стекло, разбитое камнем, то мы воскликнем: «Что за странное совпадение! В тот самый момент, когда камень ударяет по стеклу, кто-то внутри здания звуком высокой частоты разбивает стекло!» Таким образом, оказывается, что специфическая черта причинной связи, которая отличает ее от других отношений, состоит в том, что причинность не может быть установлена на основе исследования только одного конкретного случая. Она может быть установлена только на основе общего закона, который в свою очередь основывается на многочисленных наблюдениях явлений природы.

Когда кто-то утверждает, что *A* есть причина *B*, он фактически говорит, что это есть частный случай общего закона, который является универсальным в отношении к пространству и времени. Если замечают, что закон имеет место для сходных пар событий в других местах и в другое время, предполагают, что он действителен для любого времени или места. Это крайне сильное утверждение, смелый скачок от серии частных случаев к универсальному условному высказыванию: для всякого x, если Px, то Qx. Если наблюдают Pa, то из него вместе с законом логически следует Qa. Если бы не было множества предварительных наблюдений, то нельзя было бы и сделать утверждения о законе. Именно этим причинная связь принципиально отличается от других отношений. В случае отношения «предмет x находится внутри ящика y» проверка одного ящика b достаточна, чтобы определить, находится ли внутри него предмет a. Но чтобы определить, выполняется ли причинная связь в частном случае, недостаточно исследования одного случая. Сначала должен быть установлен относящийся сюда закон, а это требует повторных наблюдений сходных случаев.

С моей точки зрения, было бы более плодотворным заменить всю дискуссию о значении понятия причинности исследованием различных типов законов, которые встречаются в науке. Когда будут исследоваться эти законы, вместе с тем будут анализироваться и типы причинных связей, которые наблюдались. Логический анализ закона представляет, конечно, более ясную и точную проблему, чем выяснение значения причинности.

Чтобы понять причинность с современной точки зрения, поучительно рассмотреть это понятие с исторической точки зрения. Я не занимался исследованиями в этой области, но с интересом прочитал, что было написано об этом Гансом Кельсеном [1]. Кельсен сейчас находится в Америке, а в то время он был профессором конституционного и международного права в Венском университете. Когда в 1918 году произошла революция

---

[1] Точка зрения Кельсена развита в его статье «Причинность и кара» («Causality and Retribution», в: «Philosophy of Science», 8, 1941) и подробно разработана в его книге «Общество и природа» («Society and Nature», Chicago, Ill, University of Chicago Press, 1943).

и в следующем году была основана Австрийская республика, он был одним из основных авторов новой конституции республики. Анализируя философские проблемы, связанные с законом, он, очевидно, стал интересоваться историческим происхождением понятия причинности.

Часто говорят, что для человеческих существ характерна тенденция переносить свои чувства на природу, предполагать, что явления природы, подобные дождю, ветру и молнии, являются одушевленными и действуют с целями, похожими на цели человека. Может быть, именно так и возникла вера в существование «сил» и «причин» в природе? Кельсен стал убеждаться, что такой анализ происхождения понятия причинности вполне правдоподобен, хотя и кажется слишком индивидуалистическим. В своих исследованиях о возникновении первых понятий причинности в античной Греции он обнаружил, что в качестве модели для них служил общественный, а не индивидуальный порядок. Это подтверждается тем фактом, что с самого начала и даже сейчас регулярности природы называют «законами природы», как если бы они были похожи на законы в политическом смысле.

Кельсен объяснил это следующим образом. Когда греки начали свои систематические наблюдения над природой и заметили различные причинные закономерности, они почувствовали, что за явлениями существует определенная необходимость. Они рассматривали ее как моральную необходимость, аналогичную моральной необходимости в отношениях между лицами. Так же как зло требует наказания, а добро — вознаграждения, так и некоторое событие *A* в природе требует следствия *B*, чтобы восстановить гармоничное состояние вещей, восстановить справедливость. По мере того как осенью становится все холодней и холодней, пока зимой не достигается высшая точка холода, погода все больше и больше выходит, так сказать, из равновесия. Чтобы достигнуть равновесия и справедливости вещей, погода должна теперь становиться все более теплой. К несчастью, она идет к другой крайности и становится слишком жаркой, поэтому цикл должен повторяться. Когда природа слишком далеко отходит от равновесия, или гармоничного состояния, соответствующего гармонии общества, равновесие должно быть восстановлено противоположной тенденцией. Это понятие естественного порядка или гармонии отражает любовь греков к общественному порядку и гармонии, их склонность к умеренности во всех вещах, отказ от всяких крайностей.

Рассмотрим теперь принцип, согласно которому причина и следствие некоторым образом должны быть равными. Этот принцип воплощается во многих физических законах, как, например, в законе Ньютона действие сопровождается равным ему противодействием. Это обстоятельство подчеркивалось многими философами. Кельсен считает, что первоначально оно было выражением социальной веры, что наказание должно быть равно вине. Чем больше вина, тем больше должно быть наказание. Чем больше добро, тем больше вознаграждение. Такое чувство, основанное на социальной структуре, было перенесено на природу и стало основным принципом натуральной философии. Средневековые философы выражали его в виде изречения «Causa aequat effectum»[1]. Для метафизически мыслящих философов этот принцип и в настоящее время продолжает играть важную роль.

Я вспоминаю дискуссию, которую я однажды вел с человеком, который утверждал, что дарвиновская теория эволюции может быть полностью опровергнута по метафизическим основаниям. Не существует никакого пути, по которому живые организмы с примитивной организацией, утверждал он, могут эволюционировать к более высоким организмам, с более сложным строением. Такая эволюция противоречит принципу равенства причины и следствия. Только божественное вмешательство может объяснить такие изменения. Вера в принцип «causa aequat effectum» у этого человека была настолько сильна, что он отрицал научную теорию только на том основании, что она противоречит принципу. Он не критиковал теорию эволюции по оценке ее следствий, а просто отрицал ее по метафизическим основаниям. Организация не может возникнуть из дезорганизации, потому что причины должны быть равны следствиям. Чтобы объяснить эволюционное развитие, необходимо было обратиться к высшему существу.

---

[1] Причина равна следствию (*лат.*). — *Прим. перев.*

Кельсен подтверждает свою точку зрения некоторыми интересными цитатами из греческих философов. Гераклит говорит, например, о Солнце, движущемся по небу согласно «мерам», под которыми философ понимает предписанные границы его пути. «Солнце не переходит свои меры, — пишет Гераклит, — но, если оно сделает это, то Эринии, служанки богини Дике, обнаружат его». Эринии были тремя демонами мщения, а Дике — богиней человеческой справедливости. Регулярность в движении Солнца, согласно этому, объясняется следованием моральному закону, предписанному богом. Если Солнце выйдет из повиновения и отклонится от своего пути, возмездие настигнет его.

С другой стороны, некоторые греческие философы решительно выступали против такой точки зрения. Демокрит, например, рассматривал регулярности природы как совершенно безличные, не связанные каким-либо образом с божественными командами. Он, вероятно, считал, что эти законы обладают внутренней, метафизической необходимостью. Тем не менее переход от персональной необходимости божественных команд к безличной, объективной необходимости был большим шагом вперед. В настоящее время наука отказалась от понятия метафизической необходимости в законах природы. Но в эпоху Демокрита такой взгляд был существенным шагом вперед по сравнению с точкой зрения Гераклита.

В книге Филиппа Франка о причинности «Причинность и ее границы» («Das Kausalgesetz und seine Grenzen», опубликована в 1932 году в Вене и не переводилась на английский) указывается, что часто поучительно читать предисловия к учебникам по различным наукам. В самой книге авторы обычно целиком стоят на почве науки и тщательно избегают метафизики. Но в предисловиях заметнее обнаруживаются личные взгляды автора. Если автор страстно желает придерживаться старого, метафизического способа рассмотрения вещей, он может почувствовать, что его предисловие является подходящим местом, чтобы рассказать своим читателям, чем *действительно* занимается наука. Здесь вы можете обнаружить, какого рода философскими понятиями руководствовался автор, когда писал свой учебник. Франк цитирует из предисловия современного физика такой текст: «Природа никогда не нарушает законы». Это утверждение кажется довольно невинным, но если оно анализируется более тщательно, то оказывается весьма странным замечанием. Странной является не вера в причинность, а способ, с помощью которого она выражена. Автор здесь не говорит, что иногда возникают миражи и исключения из причинных законов. Фактически он явно отрицает это, но отрицает посредством утверждения, что природа никогда не *нарушает* законы. Его слова неявно содержат мысль, что природа располагает некоторым выбором. Природе предписываются известные законы, которые она может время от времени нарушать. Но подобно богу и соблюдающим законы гражданам, она никогда не делает этого. Если она сделает это, предполагается, что на сцене появятся Эринии и вновь вернут ее на правильный путь. Вы видите, что здесь все еще сохраняется понятие о законах как командах. Автор, конечно, будет обижен, если вы припишете ему старый метафизический взгляд, согласно которому законы даются природе таким образом, что природа может либо подчиниться им, либо не подчиниться. Но из самого способа выбора слов ясно, что в сознании автора все еще сохраняется старая точка зрения.

Предположим, что при посещении города, чтобы найти дорогу, вы будете обращаться к карте. Вдруг вы обнаруживаете отчетливое расхождение между картой и улицами города. Вы не скажете, что «улицы вышли из подчинения карте». Вместо этого вы будете говорить, что «карта неправильная». Таково же положение ученого относительно того, что называют законами природы. Законы представляют карту природы, начерченную физиком. Если здесь обнаруживается расхождение, никогда не возникает вопрос о том, подчиняется ли законам *природа*. Единственный вопрос состоит в том, не сделал ли *физик* ошибки.

Может быть, было бы меньше неясности, если бы слово «закон» вообще не употреблялось в физике. Оно продолжает употребляться потому, что не существует никакого общеупотребительного слова для универсальных утверждений, которые ученые употребляют в качестве основы для предсказания и объяснения. Во всяком случае, следует всегда иметь в виду, что, когда ученый говорит о законе, он просто обращается к описанию наблюдаемых регулярностей. Такое описание может быть точным или ошибочным. Если оно неточно, то ученый, а не природа несет ответственность за это.

Глава 21

ЛОГИКА КАУЗАЛЬНЫХ МОДАЛЬНОСТЕЙ

Прежде чем заняться природой научных законов, мне бы хотелось разъяснить некоторые краткие замечания о Юме. Я считаю, что Юм был прав, когда говорил, что не существует никакой внутренней необходимости в причинной связи. Однако я не отрицаю возможности введения понятия необходимости при условии, что оно будет не метафизическим понятием, а понятием логики модальностей. Модальная логика представляет собой логику, дополняющую логику истинностных значений[1] путем введения таких категорий, как необходимость, возможность и невозможность. Следует тщательно позаботиться о том, чтобы четко отличить логические модальности (логическая необходимость, логическая возможность и т. п.) от каузальных модальностей (каузальная необходимость, каузальная возможность и т. п.), как и от многих других видов модальностей. Значительно полнее были исследованы только логические модальности. Наиболее известной работой в этой области является система строгой импликации, разработанная К.-И. Льюисом. Я сам однажды опубликовал статью по этой теме. Что же касается каузального отношения, то здесь используется не логическая, а каузальная модальность, к которой мы и должны обратиться.

По моему мнению, логика каузальных модальностей возможна. До сих пор в этой области было сделано очень мало. Первая попытка разработки системы такого типа принадлежит, кажется, Артуру У. Бёрксу[2]. Он

---

[1] Под логикой истинностных значений понимают классическую математическую логику, которая оперирует двумя истинностными значениями или валентностями высказываний. В такой логике, как и логике традиционной, высказывания могут быть либо истинными, либо ложными. — *Прим. перев.*

[2] См. статью Бёркса «Логика каузальных высказываний» («The Logic of Causal Propositions», «Mind», 60, 1961, p. 363—382).

предложил аксиоматическую систему, но крайне слабую. Фактически он не устанавливает, при каких условиях универсальное высказывание будет рассматриваться как каузально необходимое. Другие авторы разрабатывали, в сущности, те же самые проблемы, но в другой терминологии. Например, Ганс Рейхенбах сделал это в своей небольшой книге «Номологические высказывания и допустимые операции»[1]. Большое число статей посвящено проблеме «условных высказываний, противоречащих фактам» (counterfactual conditionals), проблеме, тесно связанной с каузальными модальностями.

Условное высказывание, противоречащее факту, представляет утверждение такого рода, что если известное событие не происходит, то последует некоторое другое событие. Очевидно, что значение этого утверждения не может быть выражено в символическом языке путем использования связки для условных предложений (символа «$\supset$») в том смысле, в каком обычно эта связка употребляется. Попытка анализа точного значения условных высказываний, противоречащих факту, выдвигает множество различных трудных проблем. Родерик М. Чисхолм (1946) и Нельсон Гудмэн (1947) первыми выступили со статьями по этой теме[2]. За ними последовали статьи многих других авторов.

Какова в точности связь между проблемой условных высказываний, противоречащих факту, и проблемой создания модальной логики, которая будет содержать понятие каузальной необходимости? Эта связь состоит в том обстоятельстве, что следует проводить различие

---

[1] Hans Reichenbach, Nomological Statements and Admissible Operations (Amsterdam, North-Holland Publishing Co., 1954). Обзор этой книги дан в статье Карла Гемпеля («Journal of Symbolic Logic», 20, 1956, p. 50—54).

[2] Об условных высказываниях, противоречащих факту, см. статью Чисхолма (Chisholm, The Contrary-to-Fact Conditional, «Mind», 55, p. 289—307, перепечатано в сборнике «Readings in Philosophical Analysis», New York, Appleton-Century-Crofts, 1953, ed. Herbert Feigl and Willfrid Sellars), статью Нельсона Гудмэна (Nelson Goodman, The Problem of Counterfactual Conditionals, «Journal of Philosophy», 44, 1947, p. 113—128, перепечатано в его книге: «Fact, Fiction and Forecast», Cambridge, Harvard, University Press, 1955). Эрнст Нагель обсуждает эту тему в своей книге «Структура науки» («The Structure of Science», New York, Harcourt, Brace and World, 1961, p. 68—73), где даются ссылки на более новую литературу.

между двумя видами универсальных высказываний. С одной стороны, существуют высказывания, которые можно назвать настоящими законами, такие, как законы физики, описывающие регулярности, универсальные в пространстве и времени. С другой стороны, имеются высказывания общего характера, не являющиеся настоящими законами. Для их характеристики были предложены разные термины, иногда их называют «случайными» (accidental) универсальными высказываниями. Например, высказыванием такого рода является следующее: «Все монеты, находившиеся в моем кармане 1 января 1958 года, были серебряные». Коренное различие между двумя видами универсальных высказываний может быть лучше понято с помощью соответствующих условных высказываний, противоречащих фактам.

Рассмотрим сначала настоящий закон — закон гравитации. Он позволяет мне утверждать, что если я уроню камень, то он упадет на землю с определенным ускорением. Я могу высказать сходное утверждение в форме условного высказывания. «Вчера я держал в своей руке камень. Но если бы я не держал его, то есть если бы убрал свою руку, он бы упал на землю». Это утверждение *описывает* не то, что произошло в действительности, а что *могло* бы случиться, если бы я не держал камень в руке. Я делаю это утверждение на основе закона гравитации. Закон явно может быть и не выражен, но молчаливо предполагается. Устанавливая закон, я выдвигаю основание для веры в утверждение, противоречащее факту. Очевидно, я не верю этому, поскольку вижу, что́ в действительности происходит. И хотя на самом деле этого не происходит, разумно высказывать утверждение, противоречащее факту, поскольку оно основывается на подлинном законе физики. Закон считается достаточным для обоснования высказывания, противоречащего факту.

Можно ли то же самое сделать со вторым типом универсальных утверждений — утверждений случайных? Сразу же очевидно, что это будет абсурдом. Допустим, я говорю: «Если эта монета находилась в моем кармане 1 января 1958 года, то она сделана из серебра». Очевидно, что вещество монеты не зависит от того, находится ли она в определенное время в моем кармане. Универсальное утверждение «все монеты, находившиеся в моем кармане 1 января 1958 года, были серебряные» не является адекватной основой для высказывания, противоречащего факту. Тогда очевидно, что некоторые универсальные утверждения дают разумную основу для высказываний, противоречащих фактам, в то время как другие не обеспечивают такой основы. Мы можем быть убеждены в том, что универсальное утверждение случайного типа является истинным. Тем не менее мы не будем рассматривать его как закон. Когда анализируется значение высказывания, противоречащего факту, всегда важно иметь в виду это различие. Оно также входит в проблему нелогических, или каузальных модальностей.

Руководящая идея моего подхода к проблеме такова. Допустим, что кто-то выдвигает некоторое утверждение в качестве нового закона физики. Неизвестно, является ли это утверждение истинным или ложным, поскольку наблюдения, сделанные до сих пор, являются недостаточными. Но само утверждение является универсальным, поскольку оно говорит о том, что, если в любое время и в любом месте происходит некоторое событие, оно влечет за собой другое событие. Исследуя *форму* утверждения, можно будет решить, называть ли его настоящим законом, *если* оно истинно. Вопрос об истинности закона в данном случае несуществен. Важно только указать, имеет ли утверждение *форму* настоящего закона. Например, кто-то выдвигает в качестве закона гравитации утверждение, что сила гравитации убывает *пропорционально* третьей степени расстояния. Оно, очевидно, ложно, так как в нашей Вселенной не выполняется. Но легко представить себе Вселенную, в которой оно будет выполняться. Таким образом, вместо того, чтобы делить утверждения на номологические, или настоящие, законы (предполагается, что они истинны) и неномологические, я предпочитаю делить их независимо от их истинности на два класса: 1) утверждения, имеющие форму закона (иногда они называются «номическими» формами), и 2) утверждения, не имеющие такой формы. Каждый класс включает истинные и ложные утверждения. Утверждение «гравитация уменьшается пропорционально третьей степени расстояния» относится к первому классу. Оно имеет форму закона, хотя и неистинно и, следовательно, не является законом. Утверждение «1 января 1958 года все мужчины в Лос-Анджелесе были в пурпурных галстуках» принадлежит ко второму классу.

Даже если бы оно случайно оказалось истинным, оно все же выражало бы не закон, а только случайное состояние вещей в одно определенное время.

По моему убеждению, различие между этими двумя видами утверждений может быть определено точно. Это не было сделано до сих пор, но, если бы было сделано, я предчувствую — я не хочу подчеркивать это более сильно — оно было бы чисто семантическим различием. Под таким различием я понимаю следующее. Если кто-то предлагает мне универсальное утверждение *S* и если я достаточно ясно представляю себе различие между двумя их типами, то я не буду проводить каких-либо экспериментов, чтобы решить, к какому типу относится данное утверждение. Я просто спрошу себя: если бы мир был таков, что *S* было бы истинно, то стал бы его я рассматривать как закон? Поставим вопрос более точно: буду ли я его рассматривать как *основной* закон? Позже я объясню мои доводы в пользу такого различия. Теперь я хочу только разъяснить, что́ я подразумеваю под выражением «имеющее форму возможного основного закона» или, более кратко, «имеющее *номическую форму*»[1].

Первое условие для утверждений, имеющих номическую форму, было ясно высказано Джеймсом Клерком Максвеллом, который сто лет назад разработал классическую электромагнитную теорию. Он указывал, что основные законы физики ничего не говорят об индивидуальном положении в пространстве и времени. Они являются совершенно общими относительно пространства и времени. Эта характеристика относится только к *основным* законам. Очевидно, что существует множество важных технических и практических законов, которые не относятся к этому виду. Они занимают промежуточное положение между основными законами и утверждениями случайного характера, но их нельзя назвать целиком случайными. Например, утверждение «все медведи в области Северного полюса — белые» не есть основной закон, потому что факт может оказаться совершенно иным. С другой стороны, оно не совсем случайно. Конечно, оно не является таким же случайным, как тот факт, что все монеты, находившиеся в моем кармане в определенное время, были серебряные. Утверждение о поляр-

---

[1] От греческого «νομος» — закон. — *Прим. перев.*

ных медведях зависит от различных основных законов, которые определяют климат вблизи Северного полюса, эволюцию медведей и другие факторы. Такой цвет медведей не случаен. С другой стороны, в течение последующего миллиона лет климат может измениться. Вблизи полюса могут появиться или перейти туда другие виды медведей, с иным цветом меха. Следовательно, утверждение о медведях не может быть названо основным законом.

Иногда закон считается основным, но позже оказывается, что он ограничен во времени, или месте, или некоторыми условиями. Экономисты девятнадцатого века говорили о законах спроса и предложения как об общих экономических законах. Впоследствии марксисты подвергли этот взгляд критике, указав на то, что эти законы относятся только к некоторому типу рыночной экономики, что бессмысленно говорить о них как о законах природы. Во многих областях биологии, социологии, антропологии, экономики имеются законы, которые сначала кажутся общими, но только потому, что автор не заглядывает дальше границ своей страны, или континента, или эпохи в истории. Законы, которые считались выражающими всеобщую мораль поведения или всеобщие формы религиозного культа, оказываются ограниченными, когда обнаруживаются другие цивилизации с иными формами поведения. В настоящее время предполагают, что жизнь может существовать на других планетах. Если это окажется так, то многие законы биологии, которые считались универсальными для всех живых тел на земле, могут оказаться неприменимыми к жизни где-то в Галактике. Тогда очевидно, что существует множество законов, которые не являются случайными, но действительны только в ограниченных областях пространства — времени, а не всюду. Такие законы необходимо отличать от универсальных. Считается, что законы, называемые законами физики, выполняются всюду. Когда Максвелл формулировал свои уравнения для электромагнетизма, он был убежден, что они получаются не только в его лаборатории, но в любой лаборатории вообще, и не только на земле, но и в космосе, на Луне и на Марсе. Он верил, что сформулировал законы, которые являются универсальными во всей Вселенной. Хотя его законы известным образом и были видоизменены в квантовой механике, но именно только изменены. Во многих существенных отношениях они все еще рассматриваются как универсальные, и всякий раз, когда современный физик устанавливает основной закон, он стремится рассматривать его как универсальный. Такие основные законы следует отличать от законов, ограниченных в пространстве и времени, и от производных законов, которые выполняются только для некоторых видов физических систем, некоторых веществ и т. д.

Проблема точного определения того, что́ понимают под номической формой, то есть формой возможного основного закона, еще не решена. Конечно, условие Максвелла, что закон должен применяться к любому времени и месту, должно стать частью его определения. Должны существовать и другие условия, некоторые из которых впоследствии и были предложены, но среди философов науки все еще нет согласия относительно того, какими в точности должны быть эти дополнительные условия. Оставляя в стороне эту неразрешенную проблему, допустим, что имеется точное определение номической формы. Я теперь покажу, как, по моему мнению, такая номическая форма может послужить базой для определения других важных понятий.

Сначала я определяю основной закон природы как утверждение, имеющее номическую форму и в то же время истинное. Читатель может почувствовать неудобство такого определения. Некоторые из моих друзей утверждали, что эмпирику никогда не следует говорить о законе как об истине. Закон относится к бесконечному множеству случаев во всем пространстве и времени, и никакое человеческое существо не в состоянии с достоверностью знать, выполняется ли он всюду или нет. С этим я согласен. Но следует ясно отличать достоверность от истины. Никогда, конечно, не существует полной достоверности. Действительно, имеется меньшая достоверность относительно основных законов, чем единичных фактов. Я более уверен в том, что я только что уронил этот карандаш на стол, чем в универсальности закона гравитации. Это, однако, не препятствует мне осмысленно говорить об истинности или ложности закона. Не существует никакого основания, почему понятие истины не может быть использовано для определения того, что́ *понимают* под основным законом.

Мои друзья доказывали, что вместо «истины» они предпочитают говорить «подтверждается в высокой степени». Рейхенбах в своей книге «Номологические утверждения и допустимые операции», которая цитировалась раньше, приходит к тому же заключению, хотя и в совершенно отличной терминологии. Под «истиной» он понимает «хорошо установленное» или «хорошо подтвержденное на основе известных свидетельств в некоторое время в прошлом, настоящем или будущем». Но я подозреваю, что это не то, что ученые *имеют в виду*, когда говорят об основном законе. Под «основным законом» они понимают нечто такое, что имеет место в природе независимо от того, сознает ли это какое-либо человеческое существо. При решении проблемы определения «основного закона» нам нечего делать со степенью, с которой закон может быть подтвержден. Такое подтверждение, разумеется, никогда не может быть достаточно полным, чтобы обеспечить достоверность. Проблема касается только значения, которое придается закону, когда это понятие используется в рассуждениях ученых.

Многим эмпирикам становится неловко, когда они подходят к этому вопросу. Они чувствуют, что эмпирик никогда не должен употреблять ужасно опасного слова, подобного слову «истина». Отто Нейрат, например, говорил, что было бы грехом против эмпиризма говорить о законах как об истинных. Американские прагматисты, включая Уильяма Джемса и Джона Дьюи, придерживались сходной точки зрения. По моему мнению, такое суждение объясняется недостаточно ясным различием между двумя разными понятиями: 1) степенью, с которой закон устанавливается в определенное время, и 2) семантическим понятием истинности закона. Как только такое различие будет сделано и осознан тот факт, что в семантике может быть дано точное определение истины, не останется больше никакого основания для колебания в употреблении слова «истина» при определении «основного закона природы».

Мне бы хотелось предложить следующее определение: утверждение является *каузально истинным*, или *С*-истинным, если оно представляет логическое следствие класса всех основных законов. Основные законы определяются как утверждения, имеющие номическую форму и являющиеся истинными. Те *С*-истинные утверждения, которые имеют универсальную форму, являются законами в более широком смысле, либо основными, либо производными. Производные законы охватывают законы, ограниченные в пространстве и времени, такие, как законы метеорологии на земле.

Рассмотрим два следующих утверждения. «В городе Брукфильде в течение марта 1950 года каждый день, когда температура стояла ниже нуля с полуночи до пяти часов утра, в пять утра городской пруд был покрыт льдом». Это производный закон. Сравните его со вторым утверждением, которое совершенно подобно первому, за исключением конца: «...тогда после полудня игра в футбол происходит на стадионе». Это утверждение также истинно. Игра в футбол происходила каждое воскресенье, а особые температурные условия оказывались осуществленными только дважды в марте 1950 года, причем оба раза в воскресенье утром. Таким образом, второе утверждение, хотя и истинно и имеет ту же логическую форму, тем не менее не представляет закона. Оно является просто случайным универсальным высказыванием. Этот пример показывает, что среди *ограниченных* утверждений универсальной формы, хотя и предполагаемых истинными, различие между законами (в данном случае производными) и универсальными случайными высказываниями не может быть сделано только на основе семантического анализа утверждений. По моему мнению, такое различие может быть сделано только косвенно, с помощью понятия основного закона. Производный закон представляет логическое следствие класса основных законов, случайное же утверждение не является таким следствием. Однако я полагаю, что различие между формами основного закона и случайными универсальными высказываниями может быть установлено с помощью чисто семантического анализа, без использования фактического знания.

В своей книге «Значение и необходимость»[1] я защищаю взгляд, согласно которому логические модальности наилучшим образом интерпретируются как свойства вы-

---

[1] Rudolf Carnap, Meaning and Necessity, A Stady in Semantics and Modal Logic (Chicago: University of Chicago Press, 1947); испр. изд., с новым предисловием, в твердом переплете (1956); в бумажной обложке (1960). (Русск. перевод: Рудольф Карнап, Значение и необходимость, М., ИЛ, 1959.— *Прим. перев.*)

сказываний, аналогичные некоторым семантическим свойствам суждений, которые выражаются этими высказываниями. Допустим, что утверждение S_1 в языке L выражает суждение p_1; тогда p_1 является логически необходимым суждением, если и только если S_1 является L-истинным в языке L. (Я использую термин «L-истинный» для «логической истинности».) Два следующих утверждения будут, следовательно, эквивалентными:

1) S_1 является L-истинным (в L);

2) p_1 является логически необходимым.

Иными словами, сказать, что суждение логически необходимо, то же самое, что сказать: любое утверждение, выражающее суждение, является L-истинным. Семантические L-понятия (L-истинность, L-ложность, L-импликация, L-эквивалентность) могут быть определены для языков, которые достаточно сильны, чтобы охватить всю математику и физику; поэтому проблема интерпретации *логической* необходимости была разрешена. Наилучшим подходом к другим модальностям, в частности каузальным, с моей точки зрения, является подход, аналогичный следующему.

В качестве примера того, что я здесь имею в виду, рассмотрим различие между вышеупомянутыми утверждениями 1) и 2). «S_1» есть имя предложения, следовательно, 1) является утверждением метаязыка. С другой стороны, 2) есть утверждение объектного языка, хотя и не в экстенсиональном объектном языке. Это — объектный язык, связки которого не представляют функций истинности. Представим 2) в символической форме:

3) $N(p_1)$.

Это означает: «p_1 есть логически необходимое суждение».

Аналогичным образом я определяю сначала «номическую форму», затем «основной закон» и, наконец, «C-истинность» (каузальную истинность). Все они являются семантическими понятиями. Таким образом, если мы имеем утверждение

4) S_1 является C-истинным,

то я буду говорить, что суждение, выраженное посредством S_1, является необходимым в каузальном смысле.

Это можно записать так:

5) p_1 является каузально необходимым

или, в символической форме:

6) $N_C(p_1)$.

Когда я определяю эти термины, класс каузально необходимых суждений является исчерпывающим. Он содержит и логически необходимые суждения. С моей точки зрения, это более удобно, чем другие способы определения тех же самых терминов, но это, разумеется, просто вопрос удобства. Предмет каузальных модальностей не был достаточно хорошо исследован. Он представляет обширную, сложную тему, и мы не будем входить здесь в какие-либо технические детали.

Глава 22

ДЕТЕРМИНИЗМ И СВОБОДА ВОЛИ

Термины «причинность» и «причинная структура мира» я предпочитаю употреблять в очень широком смысле. Причинные законы представляют собой законы, посредством которых можно предвидеть и объяснить события. Совокупность всех этих законов описывает причинную структуру мира.

В повседневной речи, конечно, не говорят, что A является причиной B, если B по времени не произошло после A и если не существует непосредственной причинной связи событий A и B. Если на песке видны следы человека, то отсюда можно заключить, что кто-то ходил по песку. Но нельзя сказать, что следы являются *причиной* хождения по песку, даже если о таком хождении мы заключаем на основе причинных законов. Подобным же образом, когда A и B являются конечными результатами длинной цепочки причинных связей, которые сводятся к общей причине, то в этом случае не говорят о том, что A является *причиной* B. Наступление дня не дает возможности предсказать наступление ночи, потому что день и ночь имеют общую причину, но никогда не говорят, что одно из этих событий является причиной другого. Взглянув на расписание, можно предсказать, что поезд прибудет в определенное время. Графу в расписании нельзя, разумеется, считать причиной прибытия поезда. Здесь снова два события сводятся к общей причине. С решения управления железнодорожной компании начинаются две отдельные цепочки причинно связанных событий, которые восходят к *A* и *B*. Когда мы читаем расписание, мы делаем причинное умозаключение, которым замыкается одна цепь и начинается другая, но это такой косвенный процесс, который не дает возможности утверждать, что *A* служит причиной *B*. Не существует никакого основания против использования термина «причинный закон» в настолько широком смысле, чтобы его можно было применить ко всем законам, с помощью которых можно предвидеть и объяснить некоторые события на основе других, независимо от того, делаются ли умозаключения о будущем или прошлом.

Что можно сказать в рамках такой точки зрения о значении термина «детерминизм»? По моему мнению, детерминизм представляет собой специальный тезис о причинной структуре мира. Этот тезис утверждает, что причинная структура настолько сильна, что при данном полном описании всех состояний мира в один начальный момент времени с помощью законов можно вычислить любое событие в прошлом и будущем. Это была механистическая точка зрения, которой придерживался Ньютон и которая подробно анализировалась Лапласом. Она, конечно, включает в описание одновременного состояния мира не только описание положения каждой частицы, но также их скорости. *Если* причинная структура мира достаточно сильна, чтобы осуществить этот тезис — и я формулирую его, как формулировал Лаплас, — тогда можно будет сказать, что этот мир имеет не только причинную структуру, но, определяя ее более точно, *детерминистическую структуру*.

В современной физике квантовая механика имеет причинную структуру, которая большинством физиков и философов науки рассматривается как недетерминистическая. Она, так сказать, слабее, чем структура классической физики, потому что содержит основные законы, имеющие существенно вероятностный характер. Они не могут быть даны в детерминистической форме, подобно следующей: «Если некоторые величины имеют определенные значения, тогда другие величины будут иметь точно определенные другие значения». Статистический или вероятностный закон утверждает, что если некоторые величины имеют определенные значения, то существует специфическое вероятностное распределение значений других величин. Если некоторые основные законы мира являются вероятностными, тогда тезис детерминизма не выполняется. В настоящее время большинство физиков не придерживается детерминизма в строгом смысле, в каком этот термин был употреблен здесь. Только незначительное меньшинство верит, что физика когда-то может возвратиться к нему. Сам Эйнштейн никогда не отказывался от такой веры. На протяжении всей своей жизни он был убежден в том, что отрицание детерминизма представляет временное явление. В настоящее время неизвестно, был ли он прав или же ошибался.

Проблема детерминизма, разумеется, тесно связана в истории философии с проблемой свободы воли. Может ли человек выбирать между двумя различными возможными действиями, или же его ощущение свободы выбора представляет иллюзию? В подробное обсуждение этого вопроса мы здесь не будем входить, потому что, на мой взгляд, это не влияет каким-либо образом на фундаментальные понятия и теории науки. Я не разделяю мнения Рейнхенбаха о том, что, если бы физика придерживалась классической позиции строгого детерминизма, то бессмысленно было бы говорить об осуществлении выбора, выражении предпочтения, принятия разумного решения, ответственности за наши действия и т. п. Я считаю, что все эти вещи являются совершенно осмысленными даже в мире, который является детерминистическим в строгом смысле слова [1].

---

[1] Подробное обсуждение этого вопроса с той точки зрения, с которой я согласен, можно найти в статье «Свобода воли» («Freedom of the Will»), которая опубликована в книге «Познание и общество» («Knowledge and Society»), изданной Калифорнийским университетом (New York, Appleton-Century Co. 1938). Авторы статьи — те же самые анонимные редакторы тома, но я полагаю, что покойный

Позиция, которую я отвергаю — этой позиции придерживаются Рейхенбах и другие, — может быть резюмирована следующим образом. Если Лаплас прав — то есть если все прошлое и будущее мира определяется посредством любого заданного временно́го сечения, — тогда «выбор» лишается смысла. Свобода воли будет иллюзией. Мы считаем, что мы делаем выбор, что мы на что-то решились. Фактически же каждое событие предопределено тем, что произошло раньше, даже прежде, чем мы родились. Следовательно, чтобы сохранить значение «выбора», необходимо обратиться к индетерминизму новой физики.

Я возражаю против этого рассуждения, потому что считаю, что оно приводит к путанице между детерминизмом в теоретическом смысле и принуждением. Детерминизм предполагает, что всякое событие определяется предшествующим событием согласно некоторым законам (что означает не больше, чем предсказуемость на основе наблюдения определенной регулярности). Забудем на минуту, что в современной физике детерминизм в сильном смысле слова не осуществляется. Будем думать исключительно о точке зрения девятнадцатого века. Общепринятый в физике того времени взгляд был выражен Лапласом. Если известно состояние Вселенной в данный момент времени, то человек, обладающий полным описанием этого состояния, вместе с соответствующими законами (конечно, такого человека нет, но его существование предполагается) смог бы вычислить любое событие прошлого или будущего. Даже если придерживаться такого сильного детерминистического взгляда, из него не следует, что законы *принуждают* кого-либо действовать так, как он действует. Предсказание и принуждение являются двумя совершенно разными вещами.

Чтобы объяснить это, рассмотрим узника в тюремной камере. Ему хотелось бы бежать из тюрьмы, но он окружен толстыми стенами, а двери закрыты. Это действительное принуждение, которое можно назвать отрица-

---

Пауль Мархенке был главным соавтором. Поскольку основные положения статьи весьма близки ко взглядам Морица Шлика, который был приглашенным профессором в Беркли до опубликования этой статьи, то я считаю, что в статье обнаруживается его влияние.

тельным принуждением, потому что оно удерживает узника от того, что он хочет сделать. Существует также положительное принуждение. Я сильнее вас, но у вас в руках пистолет. Вы не хотите воспользоваться им, но, если я схвачу вашу руку, направив пистолет на кого-нибудь, и сильно надавлю на ваш палец, пока он не нажмет на спусковой крючок, тогда я заставлю вас выстрелить, сделать то, что вы не хотели. По закону я, а не вы, буду нести ответственность за стрельбу. Это положительное принуждение в узком физическом смысле. В более широком смысле одно лицо может принудить другое посредством всех видов нефизических средств, таких, как угрозы ужасными последствиями.

Теперь сравним принуждение в этих различных формах с детерминацией в смысле регулярностей, встречающихся в природе. Известно, что человеческие существа обладают некоторыми характерными чертами, которые обусловливают регулярность их поведения. У меня есть друг, который очень любит некоторые музыкальные произведения Баха, редко исполняющиеся. Я узнаю, что группа блестящих музыкантов выступит на частном концерте с исполнением музыки Баха, в том числе и произведений, которые нравятся моему другу. Меня пригласили на концерт, и я сказал, что приведу с собой друга. Я приглашаю его, но, прежде чем это сделать, я почти уверен, что он захочет пойти на концерт. На каком основании я делаю такое предсказание? Я делаю такое предсказание, конечно, потому, что знаю его характер и некоторые законы психологии. Предположим, что он действительно приходит со мной, как я и ожидал. Кто принуждает его пойти? Никто. Он идет по своей воле. Фактически он никогда не был свободнее, чем когда делал выбор такого рода.

Кто-то может спросить его: «Вас заставили пойти на этот концерт? Не оказал ли кто-либо морального давления на вас, сообщив, что хозяин или музыканты обидятся, если вы не придете?»

«Ничего подобного, — ответит он, — никто не оказывал на меня ни малейшего давления. Я очень люблю Баха. Я очень хотел пойти. Вот причина, почему я пошел на концерт».

Свободный выбор этого человека, очевидно, согласуется с точкой зрения Лапласа. Даже если полная информация о мире до принятия решения этим человеком позволила бы предсказать, что он посетит концерт, все же нельзя было бы сказать, что он пошел туда по принуждению. Принуждение существовало бы только тогда, когда посторонние лица заставили бы его сделать нечто такое, что противоречило бы его желанию. Но если действие вытекает из его собственного характера в соответствии с законами психологии, тогда мы говорим, что он действовал свободно. Конечно, характер человека формируется его воспитанием, всем его жизненным опытом, но это не запрещает нам говорить о свободном выборе, если он вытекает из его характера. Возможно, что человек, любящий музыку Баха, любит также совершать вечерние прогулки. Но в этот вечер он с бо́льшим удовольствием послушал бы Баха, чем пошел бы на прогулку. Он действует согласно своей системе предпочтений и делает свободный выбор. Это — негативная сторона вопроса, отрицание мнения, что классический детерминизм делает будто бы невозможным осмысленно говорить о свободе человеческого выбора.

В одинаковой степени важна и позитивная сторона вопроса. Если бы не существовало причинной регулярности, которая не обязана быть детерминистической в сильном смысле, а может быть более слабого типа, если бы не существовало какой-либо причинной регулярности, тогда свободный выбор был бы невозможен вообще. Выбор предполагает обдуманное предпочтение одного способа действий другому. Как можно делать свободный выбор, если нельзя предвидеть последствия различных способов действия? Даже простейшие случаи выбора зависят от знания возможных последствий. Воду пьют потому, что, согласно некоторым законам физиологии, известно, что она утоляет жажду. Следствия известны, конечно, только с различной степенью вероятности. Даже если бы Вселенная была бы детерминистической в классическом смысле, все это оставалось бы верным, потому что никогда мы не будем располагать достаточной информацией, чтобы с достоверностью предсказывать события. Воображаемый человек в лапласовском представлении может делать совершенные предсказания, но никакого такого человека в действительности не существует. Практически положение таково, что знание будущего является вероятностным независимо от того, имеет ли место детерминизм в сильном смысле. Но чтобы сделать свободный выбор какого-либо рода, следует допустить возможность взвешивания вероятных результатов различных способов действия. Этого нельзя было бы сделать, если бы не существовало достаточной регулярности в причинной структуре мира. Без таких регулярностей не могло бы быть ни моральной, ни правовой ответственности. Лицо, которое не в состоянии предвидеть последствия действия, конечно, не несет ответственности за действие. Родитель, учитель, судья считают ребенка ответственным только в тех положениях, когда ребенок мог предвидеть последствия своего действия. Без причинности в мире не было бы смысла в воспитании людей, в каком-либо моральном или политическом принуждении. Такая деятельность приобретает смысл только в том случае, если предполагается, что в мире существует определенная причинная закономерность.

Эти взгляды могут быть резюмированы следующим образом. Мир имеет причинную структуру. Неизвестно, однако, является ли эта структура детерминистической в классическом смысле или же в более слабой форме. В любом случае существует высокая степень регулярности. Эта регулярность существенна для того, что называют выбором. Когда лицо делает выбор, то его выбор составляет часть одной из мировых причинных цепей. Если не существует никакого принуждения, что означает, что выбор основывается на его собственном предпочтении, возникающем из его собственного характера, то нет никакого основания для того, чтобы не говорить о свободном выборе. Верно, что характер человека заставляет его выбирать так, как он сделал, а это в свою очередь обусловлено предшествующими причинами. Но не имеется никакого основания говорить, что его характер *принуждает* его выбрать именно то, что он сделал, потому что слово «принуждение» определяется в терминах внешних причинных факторов. Конечно, это возможно для психически ненормальных людей, находящихся в крайне неуравновешенном душевном состоянии. Можно будет сказать, что они совершили преступление потому, что их характер принудил их сделать это. Но термин «принуждение» здесь употребляется потому, что осознается, что ненормальность помешала им ясно предвидеть последствия различных способов действия. Именно ненормальность сделала их неспособными разумно размышлять и действовать. Здесь имеется серьезная проблема, где провести границу между преднамеренным, волевым поведением и действиями, вызванными ненормальным душевным состоянием. Однако в общем свободный выбор представляет собой решение, сделанное кем-то, способным предвидеть последствия различных способов действия и выбрать наиболее предпочтительный. С моей точки зрения, не существует никакого противоречия между свободным выбором, понимаемым таким образом, и детерминизмом даже строгого классического типа.

В недавние годы многие авторы стали допускать, что недетерминированные квантовые скачки, которые, как полагает большинство физиков, происходят случайно, могут играть роль в принятии решений [1]. Совершенно справедливо, что при некоторых условиях микропричина, такая, как квантовый скачок, может привести к наблюдаемому макроэффекту. Например, в атомной бомбе цепная реакция начинается только тогда, когда имеется достаточное число свободных нейтронов. Также возможно, что в человеческом организме больше, чем во множестве других неодушевленных физических систем, имеется некоторых пунктов, где отдельные квантовые скачки могут приводить к наблюдаемому макроэффекту. Но мало вероятно, чтобы они являлись именно теми пунктами, в которых вырабатываются человеческие решения.

Подумаем на минуту о человеческом существе в момент принятия решения. Если в этом пункте имеется вид неопределенности, демонстрируемой квантовым скачком, тогда решение, принятое в указанном пункте, будет одинаково произвольным. Такой произвол не может помочь усилить значение термина «свободный выбор». Выбор, подобный этому, вообще не будет выбором, а случаем, случайным решением, как если бы решение между двумя различными способами действия определялось бросанием монеты. К счастью, область не-

---

[1] Генри Маргенау высказывает такой взгляд в своей книге (Henry Margenau, Open Vistas: Philosophical Perspectives of Modern Science, New Haven, Yale University Press, 1961). Филипп Франк (Philipp Frank, Philosophy of Science, Englewood, N. Y., Prentice-Hall, 1957, Ch. 10, Section 4) приводит цитаты из работ многих авторов, придерживающихся разных мнений.

определенности в квантовой механике крайне мала. Если бы она была значительно больше, то временами столы могли бы взрываться или падающие камни могли бы произвольно двигаться горизонтально или обратно подниматься в воздух. Можно было бы выжить в таком мире, но, разумеется, это не увеличило бы возможности свободного выбора. Напротив, это сделало бы такой выбор гораздо более трудным, поскольку трудно было бы в таких условиях предвидеть последствия действий. Когда камень роняют, то ожидают, что он упадет на землю. Вместо этого он описывает спираль и ударяет кого-либо по голове. Тогда можно было бы подумать о чьей-то вине, когда в действительности не было никакого намерения. Очевидно, что тогда более трудно было бы предвидеть последствия действий, чем теперь, а вероятности желательных результатов оказались бы меньше. Это значительно затруднило бы обдуманное моральное поведение. То же самое применимо к самопроизвольным процессам, которые могут существовать внутри человеческого организма. В той мере, в какой они влияют на выбор, они просто будут увеличивать случайность выбора. Там будет *меньший* выбор, чем при обычных условиях, и даже более разрушительная аргументация может быть выдвинута против возможности свободной воли.

По моему мнению, на практическом уровне повседневной жизни не существует никакого различия между классической физикой с ее сильным детерминизмом и современной квантовой физикой с ее самопроизвольными микроэффектами. Неопределенность в квантовой теории является слишком незначительной в сравнении с неопределенностью повседневной жизни, возникающей из-за ограниченности знания. Здесь человек находится в мире, описываемом классической физикой. Там она находится в мире, описываемом современной физикой. Не имеется никакого различия в этих двух описаниях, которое привело бы к ощутимому эффекту при решении вопроса о свободе выбора и морального поведения. В обоих случаях человек может предвидеть результаты своих действий не с полной достоверностью, но только с некоторой степенью вероятности. Неопределенность квантовой механики не оказывает заметного влияния на то, что случится с камнем, когда человек бросит его, потому что камень представляет систему огромной сложности, состоящую из миллиардов частиц. В макромире, с которым сталкиваются человеческие существа, неопределенность квантовой механики не играет никакой роли. По этим причинам я рассматриваю как недоразумение предположение о том, что неопределенность на субатомном уровне имеет какое-либо влияние на вопрос о свободе решения. Однако многие видные ученые и философы науки думают иначе. Поэтому это может рассматриваться только как мое собственное мнение.

Часть V

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Глава 23

ТЕОРИИ И НЕНАБЛЮДАЕМЫЕ (ВЕЛИЧИНЫ)

Одним из наиболее важных различий между двумя типами законов в науке является различие между тем, что может быть названо (не существует никакой общепринятой терминологии для них) эмпирическими законами и теоретическими законами. Эмпирические законы представляют собой законы, которые могут быть подтверждены непосредственно эмпирическими наблюдениями. Термин «наблюдаемое» часто употребляется для любых явлений, которые могут восприниматься непосредственно, поэтому мы можем сказать, что эмпирические законы являются *законами о наблюдаемых*.

Здесь следует сделать предостережение. Философы и естествоиспытатели совершенно различным образом употребляют термины «наблюдаемое» и «ненаблюдаемое». Для философа «наблюдаемое» имеет очень узкое значение. Оно применяется к таким свойствам, как «синий», «твердый», «горячий». Такие свойства непосредственно воспринимаются чувствами. Для физика «наблюдаемое» имеет более широкое значение. Оно относится ко всем количественным величинам, которые могут быть измерены сравнительно простым, непосредственным путем. Философ не будет, вероятно, рассматривать температуру в 80° или вес в $93^1/_2$ фунта как наблюдаемые величины, поскольку невозможно непосредственное восприятие таких величин с помощью органов чувств. Для физика обе величины — наблюдаемые, потому что они могут быть измерены крайне простым путем. Тело может быть взвешено на весах. Температура измеряется термометром.

Однако физик не скажет, что масса молекулы, не говоря уже о массе электрона, есть что-то наблюдаемое, потому что здесь процедура измерения является гораздо более сложной и косвенной. Но величины, которые могут быть найдены с помощью относительно простых процедур — длина с помощью линейки, время — часов, частота световых волн — спектроскопа, — называются наблюдаемыми.

Философ может возразить, что сила электрического тока фактически не наблюдается: наблюдается только положение стрелки прибора. Амперметр включают в цепь и замечают, что его стрелка показывает отметку 5,3. Разумеется, сама сила тока при этом не наблюдается. Она *выводится* на основе того, что наблюдалось.

Физик ответит, что все это довольно справедливо, но вывод здесь был не очень сложным. Сама процедура измерения настолько проста, так хорошо установлена, что не может быть сомнения в том, что амперметр обеспечит точное измерение силы тока. Следовательно, эта величина войдет в число тех, которые называются наблюдаемыми.

Здесь не может быть вопроса о том, какое употребление термина «наблюдаемое» является правильным или законным. Существует континуум, который начинается с непосредственных чувственных наблюдений и затем переходит к значительно более сложным, косвенным методам наблюдений. Очевидно, что в этом континууме нельзя провести никакой резкой разграничительной линии; все дело только в степени. Философ уверен в том, что он непосредственно воспринимает голос своей жены, находящейся в соседней комнате. Но допустим, что он слушает ее по телефону. Воспринимает ли он ее голос непосредственно? Физик, конечно, будет говорить, что, когда он рассматривает что-либо через обычный микроскоп, он воспринимает это непосредственно. Относится ли это также к тому случаю, когда он рассматривает предмет через электронный микроскоп? Наблюдает ли он путь частицы, когда рассматривает треки ее в пузырьковой камере? В общем, физик говорит о наблюдаемых в очень широком смысле в сравнении с узким смыслом, который имеет в виду философ, но в обоих случаях линия, отделяющая наблюдаемое от ненаблюдаемого, в значительной мере произвольна. Это следует иметь в виду всякий раз, когда эти термины встречаются в книгах, написанных философом или естествоиспытателем. Отдельные авторы будут проводить эту границу там, где это наиболее удобно в зависимости от своей точки зрения, и не существует никаких оснований, почему они не должны иметь такой привилегии.

Эмпирические законы, в моей терминологии, представляют собой законы, которые содержат либо непосредственно наблюдаемые термины, либо измеряемые сравнительно простой техникой. Иногда такие законы называют эмпирическими обобщениями, когда вспоминают, что они получаются путем обобщения результатов, обнаруживаемых посредством наблюдений и измерений. Сюда относятся не только простые качественные законы (такие, как «все вороны — черные»), но также количественные законы, возникающие из простых измерений. Законы, связывающие давление, объем и температуру газов, принадлежат к этому типу. Закон Ома, связывающий разность электрических потенциалов, сопротивление и силу тока, является другим знакомым примером. Ученый делает повторные измерения, находит некоторые регулярности и выражает их в законе. Все эти законы являются эмпирическими законами. Как указывалось в ранних главах, они используются для объяснения наблюдаемых фактов и предсказания будущих наблюдаемых событий.

Не имеется никакого общепринятого термина для второго вида законов, которые я называю *теоретическими законами*. Иногда их называют абстрактными или гипотетическими законами. Термин «гипотетический», вероятно, не подходит сюда, поскольку он предполагает, что различие между двумя типами законов основывается на степени, с которой эти законы могут быть подтверждены. Но эмпирические законы, когда они являются рабочими гипотезами, подтверждаемыми только в незначительной степени, все же будут оставаться эмпирическими законами, хотя и можно будет сказать, что они имеют скорее гипотетический характер. Теоретические законы отличаются от эмпирических не тем, что недостаточно хорошо установлены, а тем, что содержат термины другого рода. Термины теоретических законов не относятся к наблюдаемым величинам даже тогда, когда принимается предложенное физиком широкое значение для того, что может быть наблюдаемо. Они являются законами о таких объектах, как молекулы, атомы, электроны, протоны, электромагнитные поля и другие, которые не могут быть измерены простым, непосредственным способом.

Если существует статическое поле обширных размеров, которое не изменяется от точки к точке, физик назовет его наблюдаемым, потому что оно может быть измерено простым прибором. Но если поле изменяется от точки к точке на очень малых расстояниях или же очень быстро во времени, может быть биллионы раз в секунду, тогда оно не может быть непосредственно измерено с помощью простой техники. Физик не назовет такое поле наблюдаемым. Иногда физик будет отличать наблюдаемое от ненаблюдаемого именно таким образом. Если величина остается той же самой в пределах достаточно большого расстояния или довольно большого интервала времени, так что для непосредственного измерения величины может быть применен прибор, тогда она называется *макрособытием*. Если величина изменяется в границах таких крайне малых интервалов пространства и времени, что она не может быть непосредственно измерена прибором, тогда она будет называться *микрособытием*. (Прежние авторы употребляли термины «микроскопический» и «макроскопический», но сейчас многие авторы сокращают эти термины до «микро» и «макро».)

Микропроцесс представляет собой просто процесс, охватывающий крайне малые интервалы пространства и времени. Например, таким процессом является колебание электромагнитных волн видимого света. Никаким инструментом нельзя непосредственно измерить, как изменяется его интенсивность. Иногда проводится параллель между макро- и микропонятиями и наблюдаемыми и ненаблюдаемыми величинами. Хотя в точности это не то же самое, но приблизительно они совпадают. Теоретические законы относятся к ненаблюдаемым величинам, которые очень часто характеризуют микропроцессы. Если это имеет место, то законы иногда называют микрозаконами. Я употребляю термин «теоретический закон» в более широком смысле, чем упомянутый, чтобы охватить все те законы, которые содержат ненаблюдаемые величины независимо от того, являются ли они микро- или макропонятиями.

Верно, что понятия «наблюдаемое» и «ненаблюдаемое», как отмечалось раньше, нельзя точно ограничить, поскольку они расположены на континууме. Однако на практике это различие обычно достаточно четко выражено, поэтому, вероятно, не вызовет спора. Все физики согласятся, что законы, связывающие давление, объем и температуру газа, являются эмпирическими законами. Здесь количество газа будет достаточно велико, чтобы величины, которые должны быть измерены, оставались постоянными в пределах достаточно большого объема пространства и периода времени. Это позволяет произвести простые измерения, которые впоследствии можно обобщить в законы. Все физики будут согласны в том, что законы о поведении отдельных молекул являются теоретическими. Такие законы относятся к микропроцессам, обобщения о которых не могут основываться на простых, непосредственных измерениях.

Теоретические законы являются, конечно, более общими, чем эмпирические. Важно понять, однако, что к теоретическим законам нельзя прийти, если просто взять эмпирические законы, а затем обобщить их на несколько ступеней дальше. Как физик приходит к эмпирическому закону? Он наблюдает некоторые события в природе, подмечает определенную регулярность в их протекании, описывает эту регулярность с помощью индуктивного обобщения. Можно предположить, что он сможет теперь собрать эмпирические законы в одну группу, заметить некоторого рода схему, сделать более широкое индуктивное обобщение и прийти к теоретическому закону. Но это происходит не так.

Чтобы разъяснить это, предположим, наблюдают, что железный брусок расширяется, когда он нагревается. После того как эксперимент повторяется многократно и всегда с тем же самым результатом, эта регулярность обобщается с помощью утверждения, что этот брусок расширяется, когда он нагревается. На основе этого устанавливается эмпирический закон, хотя он имеет узкую область применения и относится только к одному определенному бруску железа. Затем проводятся испытания с другими железными предметами, и впоследствии обнаруживается, что каждый раз, когда железный предмет нагревается, он расширяется. Это позволяет сформулировать более общий закон, а именно: все железные тела расширяются, когда они нагреваются. Подобным же образом устанавливаются еще более общие законы: «Все металлы...», затем: «Все твердые тела...». Все они являются простыми обобщениями, каждый последующий имеет несколько более общий характер, чем предыдущий, но все представляют эмпирические законы. Почему? Потому что в каждом случае объекты, с которыми имеют дело, являются наблюдаемыми (железо, медь, металл, твердые тела). В каждом случае увеличение температуры и длины измеряется непосредственно, простой процедурой.

В противоположность этому теоретический закон, относящийся к такому процессу, будет касаться поведения молекул в железном бруске. Каким образом движение молекул связывается с расширением бруска, когда он нагревается? Вы видите сразу же, что мы говорим теперь о ненаблюдаемом. Мы должны ввести теорию — атомную теорию материи — и тотчас же перейти к атомным законам, содержащим понятия, радикально отличающиеся от тех, с которыми мы имели дело раньше. Верно, что эти теоретические понятия отличаются от понятий длины и температуры только по степени, с которой они прямо или косвенно наблюдаются, но различие это настолько значительно, что у нас не возникает сомнения в коренном отличии характера теоретических законов, которые должны быть сформулированы.

Теоретические законы относятся к эмпирическим законам в какой-то мере аналогично тому, как эмпирические законы относятся к отдельным фактам. Эмпирический закон помогает объяснить факт, который уже наблюдался, и предсказать факт, который еще не наблюдался. Подобным же образом теоретический закон помогает объяснить уже сформулированные эмпирические законы и позволяет вывести новые эмпирические законы. Так же как отдельные, единичные факты должны занять свое место в упорядоченной схеме, когда они обобщаются в эмпирический закон, так и единичные и обособленные эмпирические законы приспосабливаются к упорядоченной схеме теоретического закона. Это выдвигает одну из основных проблем методологии науки. Как может быть получено то знание, которое служит для обоснования теоретического закона? Эмпирический закон может быть обоснован посредством наблюдения отдельных фактов. Но для обоснования теоретического закона соответствующие наблюдения не могут быть сделаны, потому что объекты, относящиеся к таким законам, являются ненаблюдаемыми.

Прежде чем заняться этой проблемой, следует повторить некоторые замечания, сделанные в ранних главах, об употреблении слова «факт». В настоящем контексте крайне важно точно употреблять это слово, потому что некоторые авторы, в особенности естествоиспытатели, используют термины «факт» и «эмпирический факт» для некоторых предположений, которые я буду называть эмпирическими законами. Например, многие физики будут относить к «фактам» удельную теплоемкость меди, равную 0,090. Я буду называть это законом, потому что в своей полной формулировке оно будет универсальным условным утверждением: «Для всякого x и в любое время t, если x является твердым телом из меди, тогда удельная теплоемкость x в момент t равна 0,090». Некоторые физики могут говорить даже о законе теплового расширения, законе Ома и других как о фактах. Конечно, они могут тогда сказать, что теоретические законы помогают объяснить такие факты. Это похоже на мое утверждение, что эмпирические законы объясняют факты, но слово «факт» используется здесь в двух разных смыслах. Я ограничиваю его значение частными, конкретными фактами, которые могут быть охарактеризованы пространственно-временным образом. Фактически наблюдается ведь не тепловое расширение вообще, а *определенное* расширение этого железного бруска, когда он нагревается утром в десять часов. Важно учитывать тот определенный подход, на основе которого я говорю о фактах. Если слово «факт» употребляется неопределенным образом, то важное различие между тем, каким способом используются для объяснения эмпирические и теоретические законы, может быть совершенно затемнено.

Как могут быть открыты теоретические законы? Мы можем сказать: «Будем собирать все больше и больше данных, затем обобщим их за пределы эмпирических законов, пока не придем к теоретическим законам». Однако никакой теоретический закон не был когда-либо основан таким образом. Мы наблюдаем камни, и деревья, и цветы, замечаем различные регулярности и описываем их с помощью эмпирических законов. Но независимо от того, как долго и тщательно мы наблюдаем такие вещи, мы никогда не достигнем пункта, когда мы сможем наблюдать молекулу. Термин «молекула» никогда не возникнет как результат наблюдений. По этой причине никакое количество обобщений из наблюдений не может дать теории молекулярных процессов. Такая теория должна возникнуть иным путем. Она выдвигается не в качестве обобщения фактов, а как гипотеза. Затем эта гипотеза проверяется методами, в определенной мере аналогичными методам проверки эмпирических законов. Из гипотезы выводятся некоторые эмпирические законы, и эти законы в свою очередь проверяются путем наблюдения фактов. Возможно, что эмпирические законы выводятся из теории, уже известной и хорошо подтвержденной (такие законы могут даже побудить сформулировать теоретические законы). Независимо от того, являются ли выводные эмпирические законы известными и подтвержденными или же новыми законами, подтвержденными новыми наблюдениями, подтверждение таких выводных законов обеспечивает косвенное подтверждение теоретическому закону.

Здесь должно быть разъяснено следующее. Ученый не начинает с одного эмпирического закона, скажем с закона Бойля для газов, и затем ищет теорию о молекулах, из которой этот закон может быть выведен. Он пытается сформулировать значительно более общую теорию, из которой можно будет вывести множество разнообразных эмпирических законов. Чем больше будет таких законов, чем более разнообразными и неочевидно связанными друг с другом они будут, тем эффективнее теория, которая будет объяснять их. Некоторые из этих выводных законов могли быть известными раньше, но теория может также сделать возможным выведение новых эмпирических законов, которые могут быть подтверждены с помощью новых проверок. Если это имеет место, тогда можно будет сказать, что теория обеспечивает возможность предсказания новых эмпирических законов. Предсказание понимается в гипотетическом смысле. Если теория действительна, тогда будут действительными также определенные эмпирические законы. Предсказанный эмпирический закон говорит об отношениях между наблюдаемыми величинами, так что возникает новая возможность производить эксперименты и убедиться, что эмпирический закон соблюдается. Если эмпирический закон подтверждается, то он обеспечивает косвенное подтверждение закона, эмпирического или теоретического, является, конечно, только частным, но никогда не полным и абсолютным. Но в случае эмпирических законов такое подтверждение является более непосредственным. Подтверждение теоретического закона происходит косвенным образом, потому что оно имеет место только через подтверждение эмпирических законов, выведенных из теории.

Самое важное значение новой теории состоит в ее возможности предсказывать новые эмпирические законы. Верно также, что теория имеет значение и для объяснения известных эмпирических законов, но это представляет меньшую ценность. Если ученый выдвигает новую теоретическую систему, из которой не могут быть выведены новые законы, тогда она логически эквивалентна совокупности всех известных эмпирических законов. Теория может иметь известную элегантность и в известной степени упростить совокупность всех известных законов, хотя, вероятно, это не будет существенным упрощением. С другой стороны, каждая новая теория в физике, приводящая к значительному скачку вперед, будет теорией, из которой могут быть выведены новые эмпирические законы. Если бы Эйнштейн сделал не больше, чем выдвинул свою теорию относительности как изящную новую теорию в физике, которая охватила бы некоторые известные законы (возможно также, и упростила бы их до некоторой степени), тогда его теория не имела бы такого революционного воздействия.

Все было, конечно, совершенно иначе. Теория относительности привела к новым эмпирическим законам, которые впервые объяснили такие явления, как движение перигелия Меркурия и отклонение светового луча вблизи Солнца. Эти предсказания показали, что теория относительности представляет собой нечто большее, чем только новый способ выражения старых законов. Действительно, эта теория обладает огромной предсказательной силой. Следствия, которые могут быть выведены из теории Эйнштейна, еще далеко не исчерпаны. Существуют такие ее следствия, которые не могут быть выведены из прежних теорий. Обычно теория такой силы обладает изяществом и объединяющим воздействием на известные законы. Она проще, чем вся полная совокупность известных законов. Но громадное значение теории состоит в ее силе предлагать новые законы, которые можно будет подтвердить эмпирическими средствами.

Глава 24

ПРАВИЛА СООТВЕТСТВИЯ

Теперь должна быть сделана важная оговорка при обсуждении теоретических законов и терминов в последней главе. Утверждение, что эмпирические законы выводятся из теоретических, представляет чрезмерное упрощение. Их невозможно вывести непосредственно, потому что теоретические законы содержат теоретические термины, в то время как эмпирические законы — только наблюдаемые термины. Это препятствует любой непосредственной дедукции эмпирических законов из теоретических.

Чтобы понять это, вообразим, что мы очутились в девятнадцатом веке, когда впервые были сформулированы некоторые теоретические законы о молекулах в газе. Эти законы должны описывать число молекул в единице объема газа, скорости молекул и т. д. Упрощая дело, мы можем предположить, что все молекулы имеют ту же самую скорость. (Это действительно было первоначальным предположением; позже отказались от него в пользу некоторого вероятностного распределения скоростей.) Далее следует сделать предположение о том, что произойдет, когда молекулы будут сталкиваться. Мы не знаем точную форму молекул, поэтому допускаем, что они являются крошечными шариками. Как сталкиваются шары? Существующие законы об ударе шаров относятся к большим телам. Поскольку мы не можем непосредственно наблюдать молекулы, мы предполагаем, что они сталкиваются подобно большим телам. Возможно, что они ведут себя как совершенные бильярдные шары на столе, лишенном трения. Все это, конечно, только предположения, догадки, подсказываемые аналогией с известными макроскопическими законами.

Но теперь мы сталкиваемся с трудной проблемой. Наши теоретические законы имеют дело исключительно с поведением молекул, которых нельзя видеть. Как тогда мы можем вывести из таких законов законы о наблюдаемых свойствах, таких, как давление, или температура газа, или свойства звуковых волн, которые распространяются через газ? *Теоретические законы содержат только теоретические термины.* То, что мы стремимся найти, — это эмпирические законы, содержащие наблюдаемые термины. Очевидно, что такие законы не могут быть выведены без некоторого дополнения теоретических законов.

К этим законам необходимо добавить множество правил, связывающих теоретические термины с наблюдаемыми терминами. Ученые и философы науки задолго до этого признавали необходимость существования такого множества правил и часто обсуждали их природу. Примером такого правила является следующее: «Если существует электромагнитное колебание определенной частоты, тогда существует *видимый зелено-синий* цвет некоторого оттенка». Здесь нечто наблюдаемое связывается с ненаблюдаемым микропроцессом.

Другой пример: «Температура газа (измеряемая термометром и, таким образом, наблюдаемая в широком смысле слова, объясненном раньше) пропорциональна средней кинетической энергии его молекул». Это правило связывает ненаблюдаемую в молекулярной теории кинетическую энергию молекул с наблюдаемой величиной — температурой газа. Если бы утверждений такого рода не существовало, тогда не было бы никакого способа для вывода эмпирических законов о наблюдаемых из теоретических законов о ненаблюдаемых.

Разные авторы употребляют различные термины для таких правил. Я называю их «правилами соответствия». П.-У. Бриджмен называет их операциональными правилами. Норман Р. Кембелл говорит о них, как о «Словаре» [1]. Поскольку эти правила связывают термины в одной

---

[1] См.: Percy W. Bridgman, The Logic of Modern Physics (New York: Macmillan, 1927) и Norman R. Campbell, Physics: The Elements (Cambridge, Cambridge University Press, 1920). Правила соответствия обсуждаются в книге Нагеля: Ernest Nagel, The Structure of Science (New York, Harcourt, Brace & World, 1961), p. 97—105.

терминологии с терминами в другой, то использование этих правил аналогично использованию двуязычного словаря. Что означает французское слово «cheval»? Вы заглядываете в словарь и находите, что оно означает «лошадь». Когда множество правил используется для связи ненаблюдаемых объектов с наблюдаемыми, дело обстоит не так просто. Тем не менее здесь имеется аналогия, наталкивающая на мысль считать название «Словарь» Кембелла подходящим для множества таких правил.

Иногда возникает искушение считать, что множество правил обеспечивает средства для определения теоретических терминов, в то время как именно обратное действительно верно. Теоретические термины никогда не могут быть явно определены на основе наблюдаемых терминов, хотя иногда наблюдаемые термины могут быть определены через теоретические термины. Например, «железо» может быть определено как вещество, состоящее из маленьких кристаллических частиц, каждая из которых имеет определенное расположение атомов, а каждый атом будет представлять собою конфигурацию частиц определенного типа. Тогда можно выразить в теоретических терминах то, что понимают под наблюдаемым термином «железо», но обратное неверно.

Не существует ответа на вопрос: «Что точно представляет собой электрон?» Позже мы вернемся к этому вопросу, потому что именно такого рода вопросы философы всегда задают ученым. Они хотят, чтобы физик рассказал им, что он понимает под «электричеством», «магнетизмом», «тяжестью», «молекулой». Если физик объясняет их через теоретические термины, философ может быть разочарован. «Это не то, что я имею в виду вообще, — будет говорить он. — Я хочу, чтобы вы рассказали мне на обычном языке, что подразумевают под этими терминами». Иногда философ в своей книге говорит о великой тайне природы. «Никто, — пишет он, — не смог до сих пор и, возможно, никто не сможет дать нам прямой ответ на вопрос: что собой представляет электричество? И таким образом, электричество навсегда останется одной из великих, непостижимых тайн Вселенной».

Никакой особой тайны здесь нет. Есть только неправильно поставленный вопрос. Определений, которые по природе самой ситуации не могут быть даны, не следует требовать. Если ребенок не знает, что такое слон, мы можем рассказать ему, что это огромное животное с большими ушами и длинным хоботом. Мы можем показать ему изображение слона. Оно превосходно служит для определения слона в наблюдаемых терминах, которые ребенок может понять. Посредством аналогии возникает искушение считать, что, когда ученый вводит теоретические термины, он также будет в состоянии определить их через обычные термины. Но это невозможно. Не существует никакого способа, с помощью которого физик мог бы показать нам изображение электричества, как он показывает своему ребенку изображение слона. Даже клетка организма, хотя она и не может быть видима невооруженным глазом, может быть представлена с помощью изображения, потому что клетка может быть видима, когда она рассматривается через микроскоп. Но мы не располагаем изображением электрона. Мы не можем сказать, как он выглядит или как ощущается, потому что его нельзя видеть и осязать. Самое лучшее, что мы можем сделать, — это сказать, что электрон — крайне маленькое тело, которое ведет себя определенным образом. Это может показаться аналогичным нашему описанию слона. Мы можем описать слона как огромное животное, которое ведет себя определенным образом. Почему не сделать то же самое с электроном?

Ответ таков. Физик может описывать поведение электрона только путем установления теоретических законов, и эти законы содержат только теоретические термины. Они описывают поле, порождаемое электроном, взаимодействие электрона с полем и т. п. Если электрон находится в электростатическом поле, он будет ускоряться определенным образом. К несчастью, ускорение электрона есть ненаблюдаемая величина. Оно не похоже на ускорение бильярдного шара, которое мы можем изучать с помощью непосредственного наблюдения. Не существует способа, с помощью которого можно было бы определять теоретические понятия в терминах наблюдения. Мы должны, таким образом, примириться с фактом, что определения известного рода, которые могут быть удовлетворительными для наблюдаемых терминов, не могут быть сформулированы для теоретических терминов.

Верно, что некоторые авторы, включая Бриджмена, говорили об этих правилах как «операциональных определениях». Бриджмен имел для этого некоторые основания, потому что, как я считаю, он использовал свои правила несколько иным образом, чем большинство физиков. Он был выдающимся физиком и, конечно, сознавал, что использует свои правила иначе, но он предпочитал некоторые необычные формы речи, и этим объясняется его отклонение от общепринятой позиции. В предшествующей главе я указывал, что Бриджмен предпочитал говорить о существовании не одного понятия силы электрического тока, а целой дюжины таких понятий. Каждая процедура, с помощью которой может быть измерена величина, обеспечивает операциональное определение для этой величины. Поскольку имеются различные процедуры для измерения силы тока, постольку существуют различные понятия тока. Ради удобства физик говорит только об одном понятии. Строго говоря, полагает Бриджмен, физик должен признавать множество различных понятий, каждое из которых определяется своей операциональной процедурой измерения.

Мы сталкиваемся здесь с выбором между двумя различными физическими языками. Если следовать обычной процедуре, принятой среди физиков, тогда различные понятия силы тока будут заменены одним понятием. Это означает, однако, что вы вводите это понятие в ваши теоретические законы, потому что операциональные правила являются только правилами соответствия, как я их называю, которые связывают теоретические термины с эмпирическими. Поэтому следует отказаться от всякой попытки операционального определения теоретических понятий. Бриджмен мог говорить об операциональном определении своих теоретических терминов только потому, что говорил не об общих, а о частных понятиях, *каждое из которых определялось* отличной эмпирической процедурой.

Даже в терминологии Бриджмена вопрос о том, могут ли его частные понятия быть адекватно определены операциональными определениями, является проблематичным. Рейхенбах часто называет их «соотносительными определениями». В немецком издании он называет их Zuordnungsdefinitionen (соотносительные определения), от немецкого Zuordnen (соотносить). Возможно, соотносительность будет лучшим термином, чем определение, для которого создавались правила Бриджмена.

В качестве примера Рейхенбах указывает на аксиоматическую систему геометрии, разработанную Давидом Гильбертом, которая является неинтерпретированной аксиоматической системой. В такой системе исходные понятия «точка», «прямая» и «плоскость» можно также определить как «класс альфа», «класс бета» и «класс гамма». Мы не должны обольщаться звуками знакомых слов, таких, как «точка» и «прямая», которые в рассуждениях берутся с их обычным значением. В аксиоматической системе они являются неинтерпретированными терминами. Но когда геометрия применяется в физике, эти термины должны быть так или иначе связаны с физическим миром. Мы можем сказать, например, что прямая линия геометрии представляется лучом света в пустоте или натянутой струной. Чтобы связать неинтерпретированные термины с наблюдаемыми физическими явлениями, мы должны иметь правила, устанавливающие такую связь.

Как мы назовем эти правила, конечно, только терминологический вопрос, но мы должны быть осторожными и не говорить о них как об определениях. Они не являются определениями в каком-либо строгом смысле. Мы не можем дать действительно адекватного определения геометрического понятия «прямая линия» посредством обращения к природе. Световые лучи, натянутые струны и т. п. служат только приближениями к прямой линии. Кроме того, они представляют не всю линию, а только ее отрезки. В геометрии такая линия обладает бесконечной длиной и абсолютной прямизной. Никакое из этих свойств нельзя обнаружить в явлениях природы. По этой причине невозможно дать операциональное определение в строгом смысле слова понятиям теоретической геометрии. То же самое верно и для всех теоретических понятий физики. Строго говоря, не существует никаких «определений» таких понятий. Я предпочитаю не говорить об «операциональных определениях» и даже не употребляю термин Рейхенбаха «соотносительные определения». В моих публикациях (только в последние годы я писал об этом вопросе) я называю их «правилами соответствия» или, проще, «согласующими правилами».

Кембелл и другие авторы часто говорят об объектах теоретической физики как математических объектах. Они подразумевают под этим то, что эти объекты связываются друг с другом с помощью математических функций. Но они не являются математическими объектами такого рода, что могут быть определены в чистой математике. В чистой математике можно определить разного рода числа, логарифмическую и показательную функции и т. д. Однако в ней невозможно определить такие термины, как «электрон» и «температура». Физические термины могут быть введены только с помощью нелогических констант, основанных на наблюдениях действительного мира. Здесь мы имеем существенное различие между аксиоматическими системами в математике и физике.

Если мы хотим дать интерпретацию термина в аксиоматической системе математики, мы можем сделать это, дав ему определение в логике. Рассмотрим, например, термин «число», как он используется в системе аксиом Пеано. Мы можем определить его в логических терминах, например с помощью метода Фреге — Рассела. Таким способом понятие «число» получает полное и явное определение на базе чистой логики. Нет необходимости устанавливать связь между числом 5 и такими наблюдаемыми свойствами, как «синий» и «горячий». Эти термины имеют только логическую интерпретацию; они не нуждаются ни в какой связи с действительным миром. Иногда аксиоматические системы в математике называют теорией. Математики говорят, например, о теории множеств, теории групп, теории матриц, теории вероятностей. Здесь слово «теория» употребляется в чисто аналитическом смысле. Оно обозначает дедуктивную систему, в которой не делается никакого обращения к действительному миру. Мы должны всегда иметь в виду, что такое употребление слова «теория» совершенно отлично от его использования в эмпирических теориях, таких, как теория относительности, квантовая теория, психоаналитическая теория и экономическая теория Кейнса.

Система постулатов в физике не может быть совершенно изолирована от мира, как математическая теория. Ее аксиоматические термины «электрон», «поле» и тому подобные должны быть интерпретированы с помощью правил соответствия, которые связывают эти термины с наблюдаемыми явлениями. Такая интерпретация по необходимости неполна. Поскольку она всегда неполна, система остается открытой, чтобы сделать возможным добавление новых правил соответствия. Действительно, это постоянно случается в физике. Я не имею в виду сейчас революцию в физике, когда разрабатываются совершенно новые теории, но менее радикальные изменения, модифицирующие существующие теории. Физика девятнадцатого столетия дает хороший пример, поскольку именно тогда прочно утвердились классическая механика и электромагнетизм, и многие десятилетия происходили лишь незначительные изменения в фундаментальных законах. Основные же теории физики оставались неизменными. Однако в этот период постоянно добавлялись новые правила соответствия, потому что непрерывно разрабатывались новые процедуры для измерения той или иной величины.

Конечно, физики всегда сталкиваются с опасностью, что они могут разработать правила соответствия, которые будут несовместимы друг с другом или с теоретическими законами. Поскольку такая несовместимость, однако, не возникает, то они свободно добавляют новые правила соответствия. Эта процедура никогда не является законченной. Всегда имеется возможность добавить новые правила и тем самым расширить значение интерпретации, характеризующей теоретические термины. Но независимо от того, насколько оно расширяется, интерпретация никогда не является окончательной. В математических системах дело обстоит иначе. Там логическая интерпретация аксиоматического термина *является* полной. Здесь мы обнаруживаем другое основание для нежелания говорить о теоретических терминах как «определенных» с помощью правил соответствия. Оно ведет к затушевыванию важного различия между природой аксиоматических систем в чистой математике и в теоретической физике.

Нельзя ли интерпретировать теоретический термин посредством правил соответствия так полно, чтобы никакие другие интерпретации были невозможны? Может быть, действительный мир ограничен в своей структуре и законах. В конечном итоге можно достигнуть такого пункта, за которым не будет никакого места для усиления интерпретации посредством новых правил соответствия. Не будут ли тогда правила давать окончательное, явное определение термина? Да, но тогда термин не будет больше теоретическим. Он станет частью языка наблюдения. История физики еще не выявила такой ситуации, чтобы физика стала завершенной. В ней наблюдается только постоянное добавление новых правил соответствия и непрерывная модификация интерпретации теоретических терминов. Не существует никакого способа узнать, есть ли это бесконечный процесс или же в конечном итоге он придет к некоторому концу.

Можно взглянуть на это дело таким образом. В физике не существует запрещения против введения столь сильных правил соответствия для термина, что он станет явно определенным и, следовательно, перестанет быть теоретическим термином. Не имеется какого-либо основания отрицать, что всегда возможно будет добавить новые правила соответствия. Поскольку история физики показывает такую устойчивую, непрекращающуюся модификацию теоретических понятий, то большинство физиков будет выступать против введения таких сильных правил соответствия, когда теоретические термины будут определяться явным образом. Кроме того, это вовсе не необходимая процедура, ибо с ее помощью мы ничего не выигрываем. Она может иметь даже обратный эффект, препятствуя прогрессу.

Конечно, здесь мы снова должны признать, что различие между наблюдаемыми и ненаблюдаемыми состоит в степени. Мы можем с помощью эмпирической процедуры дать явное определение такому понятию, как длина, потому что ее можно легко и непосредственно измерить, и маловероятно, чтобы оно могло быть видоизменено новыми наблюдениями. Но было необдуманно искать столь сильные правила соответствия, которые бы явным образом определяли «электрон». Понятие «электрона» настолько далеко от непосредственных простых наблюдений, что лучше всего сохранить его в виде теоретического термина, допускающего модификации благодаря новым наблюдениям.

Глава 25

КАК НОВЫЕ ЭМПИРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ВЫВОДЯТСЯ ИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ

В главе 24 обсуждались способы, с помощью которых правила соответствия используются для связи ненаблюдаемых терминов теории с наблюдаемыми терминами эмпирических законов. Это можно будет разъяснить на нескольких примерах того, как эмпирические законы фактически выводятся из законов теории.

Первый пример относится к кинетической теории газов. Ее модель, или схематическую картину, представляют мельчайшие частицы, называемые молекулами, которые находятся в непрерывном беспорядочном движении. В своей первоначальной форме теория рассматривала эти частицы как маленькие шарики, имеющие одинаковую массу и, когда температура газа является постоянной, ту же самую постоянную скорость. Позже было обнаружено, что газ не может находиться в устойчивом состоянии, если каждая частица будет обладать той же самой скоростью. Необходимо было найти некоторое вероятностное распределение скоростей, которое будет оставаться устойчивым. Оно было названо распределением Больцмана — Максвелла. Согласно этому распределению, существует определенная вероятность того, что любая молекула окажется внутри некоторой области шкалы скоростей.

Когда впервые была разработана кинетическая теория, многие величины, встречающиеся в законах этой теории, оставались неизвестными. Никто не знал массу молекулы или сколько молекул содержится в кубическом сантиметре газа при определенной температуре и давлении.

Эти величины были выражены с помощью некоторых параметров, входящих в законы. После того как были сформулированы уравнения, был подготовлен словарь правил соответствия. Эти правила соответствия связывали теоретические термины с наблюдаемыми явлениями таким образом, чтобы сделать возможным косвенное определение значений параметров в уравнениях. Это в свою очередь обеспечивало возможность выведения эмпирических законов. Одно правило соответствия устанавливает, что температура газа соответствует средней кинетической энергии молекул. Другое правило связывает давление газа с ударами молекул о стенки сосуда. Хотя это и дискретный процесс, охватывающий отдельные молекулы, совокупное их воздействие можно рассматривать как силу давления на стенку. Следовательно, с помощью правил соответствия давление, измеряемое макроскопически манометром (прибором для измерения давления), может быть выражено в терминах статистической механики молекул.

Что представляет собой плотность газа? Плотность есть масса в единице объема, но как мы измерим массу молекулы? Снова наш словарь — очень простой словарь — обеспечивает нас правилом соответствия. Вся масса M газа является суммой масс m отдельных молекул. M — наблюдаемая величина (мы просто взвешиваем газ), но m — величина теоретическая. Словарь правил соответствия устанавливает связь между двумя понятиями. С помощью такого словаря из нашей теории можно вывести различные эмпирически проверяемые законы. На основе теории можно вычислить, что произойдет с давлением газа, когда его объем останется постоянным, а температура будет увеличиваться. Мы можем вычислить, что произойдет со звуковой волной, образованной ударом о стенку сосуда, и что случится, когда будет нагреваться только часть газа. Эти теоретические законы разрабатываются в терминах различных параметров, которые встречаются в уравнениях теории. Словарь правил соответствия позволяет нам выразить эти уравнения как эмпирические законы, в которых понятия являются измеряемыми, так что эмпирическая процедура может дать значения параметров. Если эмпирические законы могут быть подтверждены, это обеспечивает косвенное подтверждение теории. Многие из эмпирических законов для газов были известны, конечно, до того, как была разработана кинетическая теория. Для этих законов теория дала объяснение. Вдобавок к этому теория привела к прежде неизвестным эмпирическим законам.

Способность теории предсказать новые эмпирические законы замечательно иллюстрируется на примере теории электромагнетизма, разработанной примерно к 1860 году двумя выдающимися английскими физиками — Майклом Фарадеем и Джеймсом Клерком Максвеллом (Фарадей сделал большую часть экспериментальной работы, а Максвелл — основную математическую работу). Эта теория имеет дело с электрическими зарядами и их поведением в электрических и магнитных полях. Понятие электрона — мельчайшей частицы с элементарным электрическим зарядом — не было сформулировано вплоть до конца столетия. Известная система дифференциальных уравнений Максвелла, для описания электромагнитных полей, только предполагает существование небольших дискретных тел неизвестной природы, способных нести электрический заряд или магнитный полюс. Что произойдет, когда ток будет двигаться вдоль медной проволоки? Словарь теории делает это наблюдаемое явление соответствующим действительному движению по проволоке маленьких заряженных тел. Из теоретической модели Максвелла стало возможным (конечно, с помощью правил соответствия) вывести многие из известных законов электричества и магнетизма.

Эта модель дает значительно больше. В уравнениях Максвелла встречается некоторый параметр *c*. Согласно этой модели, возмущение электромагнитного поля будет сопровождаться распространением волн, обладающих скоростью *c*. Электрические эксперименты показывали, что значение *c* приблизительно равно 3×10^{10} *см/сек*. Оно было то же самое, что и известное значение скорости света, и казалось невероятным, чтобы это было случайным. Возможно ли, спрашивали себя физики, чтобы свет был частным случаем электромагнитного колебания? Незадолго до уравнений Максвелла были объяснены все виды оптических законов, включая рефракцию, скорость света в различных средах и многие другие.

Физики были весьма довольны максвелловской моделью, объяснившей известные электрические и магнитные законы. Но они получили двойной подарок. Теория также объяснила оптические законы! Наконец значительная сила новой модели проявилась в ее способности предсказать и сформулировать эмпирические законы, которые прежде не были известны.

Первый пример был дан немецким физиком Генрихом Герцем. Примерно в 1890 году он предпринял свои известные эксперименты, имевшие целью показать, можно ли получить и обнаружить электромагнитные волны низкой частоты в лаборатории. Свет представляет собой электромагнитное колебание и распространение волн очень высокой частоты. Но законы Максвелла допускали возможность существования волн *любой* частоты. Эксперименты Герца привели к открытию волн, которые сначала назывались волнами Герца. Теперь они называются радиоволнами. В первое время Герц был в состоянии передать эти волны от одного осциллятора к другому только на небольшое расстояние — сначала на несколько сантиметров, затем на метр и больше. В настоящее время радиостанции посылают свои волны на много тысяч миль.

Открытие радиоволн было только началом выведения новых законов из теоретической модели Максвелла. В первое время, когда были открыты рентгеновские лучи, их рассматривали как частицы, обладающие огромной скоростью и проникающей способностью. Затем физики обнаружили, что, подобно световым и радиоволнам, они могут быть электромагнитными волнами, но очень высокой частоты, значительно большей, чем частота волн видимого света. Это впоследствии также подтвердилось, и законы, относящиеся к рентгеновским лучам, были выведены из максвелловских фундаментальных уравнений поля. Рентгеновские лучи оказались волнами некоторой области частот внутри еще более широкой полосы частот гамма-лучей. В настоящее время рентгеновские лучи, используемые в медицине, являются просто гамма-лучами определенной частоты. Все это в значительной степени было предсказано на основе модели

Максвелла. Его теоретические законы вместе с правилами соответствия привели к огромному множеству новых эмпирических законов.

Огромное разнообразие областей, в которых было найдено экспериментальное подтверждение теории, способствует исключительно сильному общему подтверждедению теории Максвелла. Различные отрасли физики первоначально разрабатывались из-за практических причин. В большинстве случаев разделение между ними основывалось на наших различных органах чувств. Поскольку глаза воспринимают свет и цвет, мы называем данную область физики оптикой. Поскольку наши уши слышат звуки, мы называем соответствующую отрасль физики акустикой. И поскольку наше тело чувствует тепло, мы имеем теорию теплоты. Мы находим полезным строить простые машины, основанные на движении тел, и мы называем это механикой. Другие явления, такие, как электричество и магнетизм, не могут непосредственно восприниматься, но можно наблюдать их следствия.

В истории физики всегда осуществлялся большой шаг вперед, когда удавалось одну отрасль физики объяснить с помощью другой. Акустика, например, оказалась только частью механики, потому что звуковые волны являются просто упругими волнами в твердых телах, жидкостях и газах. Мы уже говорили о том, как законы газа были объяснены с помощью механики движущихся молекул. Теория Максвелла была также крупным скачком на пути к объединению физики. Оптика оказалась частью электромагнитной теории. Медленно вызревала мысль, что однажды вся физика может быть объединена в рамках одной большой теории. В настоящее время существует огромная брешь между электромагнетизмом, с одной стороны, и гравитацией — с другой. Эйнштейн предпринял несколько попыток разработки единой теории поля, которая могла бы закрыть эту брешь. Совсем недавно Гейзенберг и другие сделали подобные же попытки. Однако до сих пор не создано никакой теории, которая была бы целиком удовлетворительной или позволила бы вывести новые эмпирические законы, допускающие проверку.

Первоначально физика развивалась как описательная макрофизика, содержащая огромное число эмпирических законов, которые казались не связанными друг с другом. В начале ученые могли гордиться открытием сотен законов. Но по мере того, как увеличивалось число таких законов, они стали беспокоиться по поводу такого состояния дел. Поэтому физики начали искать фундаментальные, объединяющие принципы. В XIX столетии происходили большие споры по вопросу об основных принципах. Некоторые чувствовали, что наука должна найти такие принципы, поскольку иначе она будет не больше, чем описанием природы, а не ее реальным объяснением. Другие считали это ошибочным подходом, заявляя, что основные принципы принадлежат только к метафизике. Они утверждали, что задача ученого сводится только к простому описанию, выявлению того, *как* происходят явления природы, а не *почему* они происходят.

Сегодня мы с легкой улыбкой думаем о больших спорах вокруг проблемы описание — объяснение. Мы можем видеть, что каждой из спорящих сторон было что сказать друг другу, но сам их метод обсуждения вопроса был неверным. Не существует никакой реальной противоположности между объяснением и описанием. Разумеется, если описание берется в очень узком смысле слова, как простое описание того, что некоторый ученый делает в определенный день с определенными материалами, то противники простого описания будут совершенно правы, требуя большего, а именно реального объяснения. Но сегодня мы видим, что описание в более широком смысле, рассматривающее явления в контексте более общих законов, обеспечивает единственный тип объяснения, который может быть дан явлению. Подобным же образом, если сторонники концепции объяснения имеют в виду метафизическое объяснение, не основывающееся на эмпирических процедурах, их противники будут совершенно правы, настаивая на том, что наука должна заниматься только описанием. Каждый подчеркивает важную сторону проблемы. Как описание, так и объяснение, правильно понятые, являются существенными аспектами науки.

Первые усилия по объяснению, предпринятые ионийскими натурфилософами, были, конечно, отчасти метафизическими; все в мире состоит из огня, или воды, или все изменяется. Эти ранние попытки научного объяснения можно рассматривать с двух различных точек зрения. Мы можем сказать: «Это — не наука, а чистая метафизика. Здесь не имеется никакой возможности подтверждения принципов, не существует никаких правил соответствия теории с наблюдаемыми явлениями». С другой стороны, мы можем заявить: «Эти ионийские теории, конечно, не являются научными, но по крайней мере они являются картинными представлениями теорий. Они — первые примитивные начала науки».

Не следует забывать, что как в истории науки, так и в психологической истории научного творчества вначале теория появляется как вид воображения, видения, вдохновляющего ученого задолго до того, как он обнаружит правила соответствия, которые могут помочь подтвердить его теорию. Когда Демокрит говорил, что все состоит из атомов, он, конечно, не располагал самыми слабыми подтверждениями для своей теории. Тем не менее это была гениальная, глубочайшая интуиция, потому что его прозрение нашло свое подтверждение две тысячи лет спустя. Мы не должны, следовательно, слишком поспешно отрицать любое предвосхищение теории при условии, что оно может быть проверено когда-то в будущем. Мы будем, однако, находиться на твердой почве только тогда, когда учтем предостережение о том, что никакая гипотеза не может претендовать на научность, если не существует *возможности* ее проверки. Она не должна быть подтвержденной, чтобы быть гипотезой, но здесь должны быть правила соответствия, которые в принципе позволяют подтвердить или опровергнуть теорию. Может быть, огромная трудность состоит в том, чтобы придумать эксперимент, который может проверить теорию. Такой случай сегодня имеет место с различными едиными теориями поля, которые были выдвинуты. Но если такая проверка возможна в принципе, то теория может быть названа научной. Когда теория предлагается впервые, мы не должны требовать ничего сверх этого.

Развитие науки, начиная от ранней философии, было постепенным процессом, который происходил шаг за шагом. Ионийские философы имели только самые примитивные теории. В противоположность этому мышление Аристотеля было гораздо более ясным и опиралось на более твердые научные основы. Он делал эксперименты и ценил их значение, хотя в других отношениях был априористом. Это было только начало науки. Но подлинной опытной науки не было вплоть до эпохи Галилео

Галилея (около 1600 года), который придавал огромное значение экспериментальному методу в противовес априорным рассуждениям о природе. Хотя многие понятия Галилея предварительно были установлены теоретически, он был первым, кто поставил теоретическую физику на твердую опытную основу. Конечно, физика Ньютона (примерно 1670 год) представляет первую исчерпывающую систематическую теорию, содержащую ненаблюдаемые объекты как теоретические понятия: универсальная сила гравитации, общее понятие массы, теоретические свойства лучей света и т. п. Его теория гравитации отличается большой общностью. Между любыми двумя телами, большими или малыми, существует сила, обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними. До того как Ньютон выдвинул эту теорию, наука не давала никакого объяснения, которое было бы применимо как к падению камня, так и к движению планет вокруг Солнца.

Сегодня нам очень легко делать замечания о том, как странно, что никто до Ньютона не мог предположить, что та же самая сила может быть причиной падения камня и движения Луны вокруг Земли. Фактически эта мысль, вероятно, никому не приходила в голову. Трудность состояла не столько в том, чтобы дать *ответ*, сколько в том, что никто не ставил такого *вопроса*. В этом вся суть. Никто не спрашивал: «Какая связь существует между силами, притягивающими небесные тела друг к другу, и земными силами, заставляющими падать тела на землю?» Даже употребление таких терминов, как «земной» и «небесный», означает удвоение, разделение природы на две принципиально различные области. Большая проницательность Ньютона сказалась в том, что он отбросил такое деление, заявив, что никакого принципиального различия здесь не существует. Имеется одна природа, один мир. Универсальный закон гравитации Ньютона являлся теоретическим законом, который впервые объяснил как падение яблока, так и кеплеровские законы движения планет. Во времена Ньютона психологически было трудно и крайне смело думать в таких общих терминах.

Позже, конечно, ученые с помощью правил соответствия выяснили, как определить массу астрономических тел. Теория Ньютона также утверждает, что два яблока, находящиеся рядом на столе, притягиваются друг к другу. Они не двигаются друг к другу потому, что сила их притяжения крайне мала по сравнению с очень большой силой трения на столе. Физики в конечном счете добились успеха в измерении гравитационных сил, существующих между двумя телами, в лаборатории. Они использовали для этого крутильные весы, состоящие из стержня с металлическими шариками на каждом конце. Этот стержень подвешивают в центре на длинной проволоке, идущей от центра стержня к высокому потолку. (Чем длинее и тоньше проволока, тем легче будет поворачиваться стержень.) Фактически стержень никогда не находится в абсолютном покое, он всегда немного колеблется. Но можно определить среднюю точку колебания стержня. После того как будет точно определено положение средней точки, рядом со стержнем конструируется большой столбик из медных брусков (медь используется из-за высокого удельного веса. Золото имеет ещё больший удельный вес, но бруски из него дороги). Было обнаружено, что середина колеблющегося стержня слегка сдвигается на небольшую величину, заставляя один из шариков на конце стержня стать ближе к медному столбику. Сдвиг составлял только доли миллиметра, но этого было достаточно, чтобы обеспечить первое наблюдение в лаборатории гравитационного эффекта между двумя телами — эффекта, предсказанного ньютоновской теорией гравитации.

И до Ньютона было известно, что яблоки падают на землю, а Луна движется вокруг Земли. Но никто до Ньютона не мог предсказать результат эксперимента с крутильными весами. Это классический пример способности теории предсказывать новые явления, которые раньше не наблюдались.

Глава 26

ПРЕДЛОЖЕНИЯ РАМСЕЯ

Научная теория в том смысле, в котором мы употребляем этот термин, — теоретические постулаты, объединенные с правилами соответствия, связывающими теоретические термины с терминами наблюдения, — в последние годы интенсивно анализировалась и обсуждалась философами науки. Многие из этих обсуждений являются настолько новыми, что они пока еще не опубликованы. В этой главе мы рассмотрим важный новый подход к теме — подход, который восходит к малоизвестной статье кембриджского логика и экономиста Фрэнка Пламптона Рамсея.

Рамсей умер в 1930 году в возрасте двадцати шести лет. Он не смог при жизни закончить свою книгу, но после его смерти сборник его статей был отредактирован Р.-Б. Брейтвейтом и издан в 1931 году под заголовком «Основания математики»[1]. Краткая статья, озаглавленная «Теории», впервые появилась в этой книге. По моему мнению, эта статья заслуживает гораздо большего внимания, чем она получила до сих пор. Возможно, что заголовок книги привлек к себе внимание только тех читателей, которые интересуются логическими основаниями математики, так что другие важные статьи в книге, такие, как статья о теориях, оказались незамеченными.

Рамсей был поставлен в затруднение тем фактом, что теоретические термины — термины для объектов, свойств, сил и событий, описываемых в теории, не осмысливаются тем же самым путем, как осмысливаются термины наблюдения — «железный стержень», «горячий» и «красный». Как же тогда теоретический термин получает значение? Каждый согласится, что его значение вытекает из контекста теории. «Ген» получает свое значение из генетической теории. «Электрон» истолковывается с помощью постулатов физики элементарных частиц. Но мы сталкиваемся здесь со многими запутанными и трудными вопросами. Как может быть определено *эмпирическое* значение теоретического термина? Что говорит нам данная теория о действительном мире? Описывает ли она структуру реального мира, или же является только абстрактным, искусственным средством упорядочения большого количества опытов отчасти таким же путем, как система счетов позволяет держать в порядке отчеты о финансовой деятельности фирмы? Можно ли сказать, что электрон «существует»

---

[1] Ramsey, The Foundations of Mathematics, London, Routlege and Kegan Paul, 1931, новое изд.: Littlefield, Adams (1960).

в том же самом смысле, как существует железный стержень?

Существуют процедуры, измеряющие свойства стержня простым непосредственным образом. Его объем и вес могут быть определены с большой точностью. Мы можем измерить длины волн света, испускаемого поверхностью нагретого железного стержня, и точно определить, что мы понимаем, когда говорим, что железо «красное». Но когда мы имеем дело со свойствами теоретических объектов, таких, как «спин» элементарной частицы, существует только сложная, косвенная процедура, дающая термину эмпирическое значение. Сначала мы должны ввести «спин» в контекст разработанной теории квантовой механики, а затем теория должна быть связана с лабораторными наблюдениями посредством другой сложной совокупности постулатов — правил соответствия. Ясно, что спин не обосновывается эмпирически простым, непосредственным способом, как обосновывается красный цвет нагретого железного стержня. Что тогда точно *представляет* его познавательный статус? Как можно отличать теоретические термины, которые должны быть некоторым способом связаны с действительным миром и подлежат эмпирической проверке, от терминов метафизических, которые так часто встречаются в традиционной философии,— терминов, не имеющих эмпирического значения? С каким правом ученый может говорить о теоретических понятиях как обоснованных, в то же самое время отрицая право философа использовать метафизические термины?

В поисках ответа на этот трудный вопрос Рамсей выдвинул новое, поразительное допущение. Он предложил заменить объединенную систему теоретических постулатов и постулатов соответствия теории тем, что сегодня называют «рамсеевским предложением теории». В рамсеевском предложении, которое эквивалентно постулатам теории, теоретические термины не встречаются вообще. Иными словами, трудный вопрос искусно обходится путем элиминации самих терминов, о которых идет речь.

Предположим, мы интересуемся теорией, содержащей n теоретических терминов: T_1, T_2, T_3, ..., T_n. Эти термины вводятся посредством постулатов теории. Они связываются с непосредственно наблюдаемыми терминами с помощью правил соответствия теории. В этих правилах соответствия встречается m наблюдаемых терминов: $O_1, O_2, O_3, \ldots, O_m$. Сама теория представляет конъюнкцию всех теоретических постулатов вместе со всеми постулатами соответствия. Полное утверждение теории, таким образом, будет составлять объединенное множество, состоящее из T и O-терминов: T_1, T_2, T_3, ..., T_n; $O_1, O_2, O_3, \ldots, O_m$. Рамсей предложил заменить предложение, являющееся полным утверждением теории, формулой, в которой все теоретические термины замещаются соответствующими переменными: U_1, U_2, U_3, ..., U_n, и к этой формуле должно быть добавлено то, что логики называют «кванторами существования» — $\exists U_1)$, $(\exists U_2)$, ..., $(\exists U_n)$. Это есть новое предложение с U-переменными и их кванторами существования, которое называют «рамсеевским предложением».

Чтобы точно увидеть, как оно получается, рассмотрим следующий пример. Возьмем символ «Мол» для класса молекул. Вместо того чтобы называть нечто «молекулой», назовем его «элементом Мол». Подобным же образом «Н-мол» будет обозначать «класс молекул водорода», а «молекула водорода» есть «элемент Н-мол». Предполагается, что система пространственно-временных координат фиксирована, так что пространственно-временная точка представлена ее четырьмя координатами: x, y, z, t. Возьмем символ «Темп» для понятия температуры. Тогда выражение «(абсолютная) температура тела b в момент времени t есть 500» может быть записано так: «Темп $(b, t) = 500$». Таким образом, температура выражается как отношение, включающее тело, временнýю точку и число. Выражение «давление тела b в момент времени t» может быть записано так: «Дав (b, t)». Понятие массы обозначается символом «Мас». Выражение «Масса тела b (в граммах) равна 150» записывается так: «Мас $(b) = 150$». Масса представляет собой отношение между телом и числом. Пусть «Ск» обозначает скорость тела (это может быть макро- или микротело). Например, «Ск $(b, t) = (r_1, r_2, r_3)$», где на правой стороне уравнения встречается тройка действительных чисел, а именно компоненты скорости по направлениям x, y и z. Таким образом, скорость есть отношение тела, временной координаты и тройки действительных чисел.

Вообще говоря, теоретический язык содержит «термины класса» (такие, как термины для макротел, микротел и событий) и «термины отношения» (такие, как термины для различных физических величин).

Рассмотрим теорию *ТС* (*Т* обозначает теоретические постулаты теории, а *С* — постулаты, которые дают правила соответствия). Постулаты этой теории включают некоторые законы из кинетической теории газов, законы движения молекул, их скоростей, столкновений и т. п. Существуют общие законы, относящиеся к любым газам, и специфические законы, относящиеся только к водороду. Дополнительно к этому имеются законы макроскопической газовой теории для температуры, давления и общей массы газа. Предположим, что теоретические постулаты теории *ТС* содержат все вышеупомянутые термины. Ради краткости, не выписывая все *Т*-постулаты, выпишем только теоретические термины, и точками укажем связь символов:

(*Т*) ... Мол ... Н-мол ... Темп ... Дав ...
Мас ... Ск ...

Чтобы закончить символизацию теории *ТС*, следует рассмотреть постулаты соответствия для некоторых, но не обязательно для всех, теоретических терминов.

Эти *С*-постулаты могут быть операциональными правилами для измерения температуры и давления (то есть описание конструкции термометра и манометра и правила для определения значений температуры и давления по числу, прочитываемому на шкале инструмента). *С*-постулаты будут содержать теоретические термины «Темп» и «Дав», так же как и многочисленные термины наблюдения: $O_1, O_2, \ldots, O_m$. Таким образом, *С*-постулаты могут быть записаны в сокращенной форме следующим образом:

(*С*) ... Темп ... O_1, ... O_2 ... O_3 ...
Дав ... O_4 ... O_m ...

Вся теория теперь может быть представлена в следующей форме:

(*ТС*) ... Мол ... Н-мол ... Темп ... Дав ...
Мас ... Ск ... Темп ... O_1 ... O_2 ...
O_3 ... Дав ... O_4 ... O_m ...

Чтобы преобразовать эту теорию TC в рамсеевское предложение, требуется два шага. Первый — заменить все теоретические термины (термины классов и термины отношения) произвольно выбранными переменными для классов и отношения. Всякий раз, когда в теории встречается символ «Мол», он заменяется, например, переменной C_1. Когда встречается символ «Н-мол», он заменяется другой переменной для класса, такой, как C_2. Термин для отношения «Темп» заменяется всюду (как в T, так и C частях теории) переменной для отношения, такой, как R_1. Таким же образом «Дав», «Мас», «Ск» соответственно заменяются тремя другими переменными для отношений, «R_2», «R_3», «R_4». Окончательный результат может быть представлен так:

$$\ldots C_1 \ldots C_2 \ldots R_1 \ldots R_2 \ldots R_3 \ldots R_4 \ldots; \\ \ldots R_1 \ldots O_1 \ldots O_2 \ldots O_3 \ldots R_2 \ldots \\ O_4 \ldots O_m \ldots$$

Этот результат (который должен мыслиться скорее полностью выписанным, чем сокращенным, как это делается здесь с помощью точек) не является больше предложением (какими являются T, C и TC). Он представляет собой формулу открытого, или незамкнутого, предложения, или, как его иногда называют, сентенциональную (sentence) форму или сентенциональную функцию[1]. Второй шаг, преобразующий формулу открытого предложения в рамсеевское предложение ^RTC, состоит в том, чтобы написать впереди формулы-предложения шесть кванторов существования, одного для каждого из шести переменных:

$$(^RTC) \quad (\exists C_1)(\exists C_2)(\exists R_1)(\exists R_2)(\exists R_3)(\exists R_4)[\ldots C_1 \\ \ldots C_2 \ldots R_1 \ldots R_2 \ldots R_3 \ldots R_4 \ldots; \\ \ldots R_1 \ldots O_1 \ldots O_2 \ldots O_3 \ldots R_2 \ldots \\ O_4 \ldots O_m \ldots].$$

Формула, которой предшествует квантор существования, утверждает, что имеется по крайней мере один

---

[1] В зарубежной и отечественной литературе по логике часто называют ее пропозициональной функцией, или функцией-высказыванием. Поскольку Карнап четко отделяет суждение от предложения (sentence), термин «сентенциональная функция» является более предпочтительным. — *Прим. перев.*

объект, удовлетворяющий условиям, выраженным формулой. Таким образом, рамсеевское предложение, указанное выше, постулирует, грубо говоря, что существует по крайней мере один класс C_1, один класс C_2, одно отношение R_1, одно R_2, одно R_3 и одно R_4, такие, что:

1) эти шесть классов и отношений связываются друг с другом специфическим способом (именно так, как это характеризуется в первой или T части формулы);

2) два отношения R_1 и R_2 связываются с m наблюдаемыми объектами, $O_1, \ldots, O_m$, определенным способом (именно так, как указывается во второй или C части формулы).

Важно заметить, что в рамсеевском предложении теоретические термины исчезают. Вместо них появляются переменные. Переменная C_1 не относится к какому-либо конкретному классу. Утверждается только то, что существует по крайней мере один класс, удовлетворяющий определенным условиям. Значение рамсеевского предложения не изменяется как-либо, если произвольно заменяются переменные. Например, можно переставить символы C_1 и C_3 или заменить их другими произвольными переменными, такими, как X_1 и X_2. Значение предложения остается тем же самым.

Может показаться, что рамсеевское предложение представляет собой не больше, чем какой-то другой окольный путь для выражения первоначальной теории. В известном смысле это верно. Легко показать, что любое утверждение о реальном мире, которое не содержит теоретических терминов — то есть любое утверждение, допускающее эмпирическое подтверждение, — которое следует из теории, будет также следовать из рамсеевского предложения. Иными словами, рамсеевское предложение имеет такую же *силу для объяснения и предсказания*, как и первоначальная система постулатов. Рамсей был первым, кто увидел это. Это была глубокая интуиция, хотя немногие из его коллег обратили на это достаточное внимание. Исключение составляет Брейтвейт, который был другом Рамсея и отредактировал его статьи. В своей книге «Научное объяснение» (1953) Брейтвейт обсуждает рамсеевскую интуицию, подчеркивая ее значение.

Важным является и тот факт, что мы можем теперь избежать всех трудных метафизических вопросов, которые вызывали беспокойство при первоначальной формулировке теорий. Кроме того, мы можем упростить саму формулировку теорий. Раньше мы имели теоретические термины, такие, как «электрон» или сомнительный термин «реальность», поскольку они были слишком далеки от наблюдаемого мира. Любое частичное эмпирическое значение, которое может быть дано этим терминам, может быть дано только посредством косвенной процедуры, устанавливающей систему теоретических постулатов и связывающей эти постулаты с эмпирическими наблюдениями с помощью правил соответствия. В рамсеевском способе выражения внешнего мира такой термин, как «электрон», исчезает. Это никоим образом не приводит к исчезновению электрона или, более точно, чего бы то ни было во внешнем мире, что символизируется термином «электрон». Рамсеевское предложение продолжает утверждать через его кванторы существования, что во внешнем мире имеется нечто, обладающее всеми теми свойствами, которые физики приписывают электрону. В этом предложении не ставится вопрос о существовании — «реальности» — этого нечто. В нем просто предлагается иной способ рассуждения об этом нечто. Трудный вопрос, которого избегают, не есть вопрос о том, «существуют ли электроны», а вопрос о том, «каково точное *значение* термина «электрон». В рамсеевском способе речи о мире этот вопрос не возникает. Нет больше необходимости спрашивать о значении «электрона», потому что сам этот термин не встречается в языке Рамсея.

Важно понять — и этот пункт недостаточно подчеркивался самим Рамсеем, — что рамсеевский подход не вносит теории в язык наблюдения, если «язык наблюдения» означает (как часто случается) язык, содержащий только термины наблюдения и термины элементарной логики и математики. Современная физика требует математики очень сложной и высокого уровня. Теория относительности, например, требует неевклидовой геометрии и тензорного исчисления, а квантовая механика — столь же сложных математических понятий. Нельзя, следовательно, говорить, что физическая теория, выраженная в виде рамсеевского предложения, является предложением в *простом* наблюдательном языке. Она требует *расширенного* наблюдательного языка, который является наблюдательным потому, что не содержит никаких теоретических терминов, но должен быть расширен для того, чтобы включить развитую, сложную логику, возможно охватывающую всю математику.

Предположим, что в логической части этого расширенного наблюдательного языка мы предусматриваем последовательность D_0, D_1, D_2... областей математических объектов, таких, что:

1) область D_0 содержит натуральные числа (0, 1, 2, ...);

2) для любой области D_n область D_{n+1} содержит все классы элементов D_n.

Расширеный язык содержит переменные для всех этих видов объектов вместе с подходящими логическими правилами для их использования. По моему мнению, этот язык достаточен не только для формулировки всех современных теорий физики, но также всех ее будущих теорий, по крайней мере для обозримого будущего. Конечно, невозможно предвидеть все виды частиц, полей, взаимодействий или других понятий, которые физики могут ввести в будущие столетия. Однако я верю, что такие теоретические понятия, независимо от того, какими странными и сложными они могут быть, с помощью рамсеевского построения можно будет сформулировать на том же самом расширенном наблюдательном языке, который теперь известен и который содержит наблюдаемые термины вместе с развитой логикой и математикой[1].

С другой стороны, Рамсей, конечно, не имел в виду — и никто этого не предполагает, — что физики должны отказаться от теоретических терминов в их речи и сочинениях. Для этого потребовалось бы в огромной мере усложнить утверждения. Например, на обычном языке легко выразить, что некоторый объект имеет массу 5 *г*. В символической записи теории, прежде чем она

---

[1] Я защищал этот взгляд более подробно и с техническими деталями в моей статье «Язык наблюдения и теоретический язык» («Beobachtungssprache und theoretische Sprache», «Dialectica», 12, 1958, S. 236—248; перепечатано в сб.: W. Ackermann et al., eds., Logica: Studia Paul Bernays dedicata, Neuchatel (Switzerland), Editions du Griffon, 1959, p. 32—44).

будет преобразована в рамсеевское предложение, выражение «некоторый объект № 17 имеет массу 5 *г*» можно записать так: «Мас (17) = 5». Однако в рамсеевском языке теоретический термин «Мас» не встречается. В нем существует только переменная (как в предыдущем примере) R_3. Как можно перевести предложение «Мас (17) = = 5» на рамсеевский язык? «R_3 (17) = 5», очевидно, не подходит; это даже не есть предложение. Эта формула должна быть дополнена предположением относительно R_3, которое характеризуется в рамсеевском предложении. Более того, недостаточно отобрать только те формулы-постулаты, которые содержат «R_3». Для этого необходимы *все* постулаты. Таким образом, даже перевод такого краткого предложения на рамсеевский язык требует чрезвычайно длинного предложения, которое содержит формулы, соответствующие всем теоретическим постулатам, всем постулатам соответствия и их кванторам существования. Даже когда применяется сокращенная форма, использованная раньше, перевод является слишком длинным:

$$(\exists C_1)(\exists C_2)\ \ldots\ (\exists R_3)(\exists R_4)[\ldots C_1 \ldots C_2 \ldots R_1 \ldots R_2 \ldots$$
$$\ldots R_3 \ldots R_4 \ldots;\ \ldots R_1 \ldots O_1 \ldots O_2 \ldots O_3 \ldots$$
$$R_2 \ldots O_4 \ldots O_m \ldots$$
$$\text{и } R_3(17) = 5].$$

Очевидно, будет неудобно пользоваться рамсеевским способом в обычных рассуждениях физики, в которых используются теоретические термины. Рамсей просто имел в виду разъяснить, что любую теорию *можно* сформулировать на языке, который не требует теоретических терминов, но говорит те же самые вещи, что и обычный язык.

Когда мы пишем «говорит те же самые вещи», мы имеем в виду все имеющие к этому отношение наблюдаемые следствия. Разумеется, он не говорит *точно* те же самые вещи. Прежний язык предполагает, что теоретические термины, такие, как «электрон» и «масса», указывают на нечто *большее*, чем то, что дается в контексте теории. Некоторые авторы называют это «дополнительным значением» термина. Когда это дополнительное значение принимается в расчет, два языка не будут, конечно, эквивалентными. Рамсеевское предложение охватывает полное *содержание наблюдений* теории. Замечательная интуиция Рамсея смогла проникнуть в то, что содержание наблюдений представляет все, что необходимо, чтобы теория функционировала как теория, то есть объяснила бы факты известные и предсказала факты неизвестные.

Верно, что физики находят гораздо более удобным говорить на сокращенном языке, который включает теоретические термины, такие, как «протон», «электрон» и «нейтрон». Но если их спросят, «существуют» ли электроны реально, они могут ответить по-разному. Некоторые физики удовлетворятся тем, что будут рассматривать такие термины, как «электрон», рамсеевским способом. Они уклонятся от вопроса о существовании, заявив, что имеются некоторые наблюдаемые события (в пузырьковой камере и т. п.), которые мы можем описать с помощью математических функций в рамках определенной теоретической системы. Кроме этого они не будут говорить ничего. Задать вопрос: *существуют* ли в действительности электроны, это, с точки зрения Рамсея, то же самое, что спросить, является ли квантовая физика истинной. Ответ на вопрос заключается в том, что в тех границах, в которых квантовая физика была подтверждена опытом, обоснованно говорить о существовании примеров некоторого рода событий, которые на языке теории называются «электронами».

Эта точка зрения иногда называется «инструменталистским» взглядом на теорию. Она близка к позиции, защищавшейся Чарльзом Пирсом, Джоном Дьюи и другими прагматистами, так же как многими другими философами науки. Согласно этому взгляду, теории ничего не говорят о «реальности». Они представляют просто языковое средство для упорядочения наблюдаемых в эксперименте явлений в определенного рода схему, которая будет эффективно функционировать при предсказании новых наблюдаемых. Теоретические термины являются удобными символами. Постулаты, содержащие их, принимаются не потому, что они «истинны», а потому, что полезны. Они не имеют никакого дополнительного значения, кроме способа функционирования в системе. Бессмысленно говорить о «реальном» электроне или «реальном» электромагнитном поле.

Противоположным такому взгляду является «дескриптивный» или «реалистический» подход к теориям. (Иногда их отличают друг от друга, но здесь нет необходимости копаться в этих тонких различиях.) Защитники такого подхода находят удобным и психологически оправданным считать электроны, магнитные поля и гравитационные волны действительными объектами, которые наука познает все больше и больше. Они указывают на то, что не существует никакой резкой границы, отделяющей наблюдаемые объекты, такие, как яблоко, от ненаблюдаемых, таких, как нейтрон. Амёба не наблюдаема невооруженным глазом, но видна в микроскоп. Вирус нельзя наблюдать через обычный микроскоп, но его структуру вполне отчетливо можно увидеть через электронный микроскоп. Протон нельзя наблюдать непосредственно, но можно видеть его треки в пузырьковой камере. Если допустимо говорить о «реальности» амёбы, то нет оснований отрицать «реальность» протона. Изменение взглядов на структуру электрона, гена и других вещей не означает, что «там», позади каждого наблюдаемого явления, не имеется ничего; это просто указывает, что мы все лучше и лучше познаем структуру этих объектов.

Защитники дескриптивного взгляда напоминают нам, что ненаблюдаемые объекты становятся наблюдаемыми по мере разработки более мощных инструментов наблюдения. В одно время «вирус» был теоретическим термином. То же самое верно относительно «молекулы». Эрнст Мах был так настроен против молекул как существующих «вещей», что однажды назвал их «не имеющими значения образами». Сегодня даже атомы кристаллической решетки могут быть сфотографированы посредством бомбардировки их элементарными частицами. В известном смысле сам атом становится наблюдаемым. Защитники такого взгляда доказывают, что разумно говорить о «существовании» атома, так же как говорят о существовании далекой звезды только на основании наблюдения слабого пятна света на долго экспонировавшейся фотопластинке. Не существует, разумеется, никакого похожего способа наблюдать электрон. Но это не дает нам права отрицать его существование. Сегодня мы мало знаем о структуре электрона, но завтра можем узнать гораздо больше. Защитники дескриптивного подхода заявляют, что так же правильно говорить о существовании электрона, как мы говорим о существовании яблок, столов и галактик.

Очевидно, что существует различие между способом выражения инструменталистов и реалистов. Мой собственный взгляд, который я не развиваю здесь, состоит в том, что конфликт между двумя подходами, в сущности, является лингвистическим. Весь вопрос в том, какой способ речи предпочитают при данной совокупности обстоятельств. Сказать, что теория есть надежный инструмент, — то есть утверждать, что предсказания наблюдаемых событий, которые она дает, будут подтверждаться на опыте, — в сущности, означает то же самое, что сказать — теория истинна и что о теоретических, ненаблюдаемых объектах она говорит как о существующих. Таким образом, не имеется никакого противоречия между тезисами инструменталистов и реалистов. По крайней мере не существует никакого противоречия до тех пор, пока первые избегают таких отрицательных утверждений, как следующее: «...но теория не состоит из предложений, которые являются либо истинными, либо ложными, а атомы, электроны и тому подобное реально не существуют»[1].

Глава 27

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ В ЯЗЫКЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Одним из наиболее старых и устойчивых делений в истории философии было деление на аналитические и фактические истины. Оно выражалось самыми различными способами. Кант ввел это различие, как показано в главе 18, в терминах того, что он назвал «аналитическими» и «синтетическими» суждениями. Прежние авторы говорили о «необходимых» и «случайных» истинах.

---

[1] Освещение дискуссии о двух или трех точках зрения на это противоречие дается Эрнстом Нагелем: E r n e s t N a g e l, The Structure of Science, New York, Harcourt, Brace & World, 1961, Ch. 6, «The Cognitive Status of Theories».

По моему мнению, четкое различие между аналитическими и синтетическими предложениями имеет важнейшее значение для философии науки. Теория относительности, например, не могла бы быть создана, если бы Эйнштейн не сознавал, что структура физического пространства и времени не может быть определена без физических опытов. Он ясно сознавал, что всегда следует иметь в виду четкую разграничительную линию между чистой математикой, с многими типами ее логически непротиворечивых геометрий, и физикой, в которой только эксперимент и наблюдения могут определить, какая из геометрий с наибольшей пользой может быть применена к физическому миру. Это различие между аналитическими истинами (которые включают логические и математические истины) и фактическими истинами одинаково важно и в современной квантовой теории, поскольку физики исследуют природу элементарных частиц и ищут теорию поля, которая связала бы квантовую механику с теорией относительности. В этой и следующей главах мы рассмотрим вопрос о том, как это старое различие может быть сделано точным во всем языке современной науки.

В течение многих лет считалось полезным делить термины научного языка на три основные группы.

1. Логические термины, включающие все термины чистой математики.
2. Термины наблюдения, или О-термины.
3. Теоретические термины, или Т-термины (иногда называемые «конструктами»).

Верно, конечно, как это подчеркивалось в прежних главах, что никакой резкой разграничительной линии не существует между О-терминами и Т-терминами. Поэтому выбор такой разграничительной линии в какой-то мере произволен. Однако с практической точки зрения это различие достаточно очевидно. Всякий согласится, что слова для обозначения свойств, такие, как «синий», «твердый», «холодный», а также слова для обозначения отношений, такие, как «теплее», «тяжелее», «ярче», являются О-терминами, в то время как слова «электрический заряд», «протон», «электромагнитное поле» представляют собой Т-термины, обозначающие объекты, которые нельзя наблюдать достаточно просто и непосредственно.

Относительно предложений языка науки имеется сходное трехчленное деление.

1. Логические предложения, которые не содержат никаких дескриптивных терминов.
2. Предложения наблюдения, или О-предложения, которые содержат О-термины, но не содержат никаких Т-терминов.
3. Теоретические предложения, или Т-предложения, которые содержат Т-термины. Т-предложения разделяются, однако, на два типа:

а) смешанные предложения, содержащие, как О-, так и Т-термины;

б) чисто теоретические предложения, содержащие только Т-термины.

Полный язык науки L удобно делить на две части. Каждая из них содержит целиком всю логику (включая математику); различие же касается только дескриптивных, нелогических элементов.

1. Языки наблюдения, или О-языки (L_O), содержащие логические предложения и О-предложения, но никаких Т-терминов.
2. Теоретический язык, или Т-язык (L_T), содержащий логические предложения и Т-предложения (с О-терминами или без них).

Т-термины вводятся в язык науки с помощью теории T, которая опирается на два рода постулатов — теоретические, или Т-постулаты, и постулаты соответствия, или С-постулаты. Т-постулаты являются законами теории. Они относятся к чистым Т-предложениям. С-постулаты, или правила соответствия, представляют собой смешанные предложения, содержащие Т-термины вместе с О-терминами. Как указывалось раньше, они представляют собой то, что Кембелл называет словарем для связи языков наблюдения и теории, Рейхенбах — соотносительными определениями, а в терминологии Бриджмена они могут быть названы операциональными постулатами или операциональными правилами.

С этими предпосылками обратимся теперь к проблеме различия аналитических и фактических истин в языке наблюдения.

Первый вид аналитических истин представляют логические истины или «L-истины» в нашей терминологии.

Предложение является L-истинным, когда оно истинно благодаря своей форме и значению логических терминов, входящих в него. Например, предложение: «Если ни один холостяк не является счастливым человеком, то ни один счастливый человек не является холостяком», является L-истинным, потому что мы можем установить его истинность, если мы знаем значения и способ употребления таких логических терминов, как «если», «то», «ни один», «является», даже когда мы не знаем значений дескриптивных слов «холостяк», «счастливый» и «человек». Все утверждения (принципы и теоремы) логики и математики относятся к этому виду. (То, что чистая математика сводится к логике, было показано Фреге и Расселом, хотя некоторые вопросы, связанные с таким сведением, все еще вызывают споры. Этот вопрос здесь обсуждаться не будет.)

С другой стороны, как разъяснил Уилард В. О. Куайн, язык наблюдения пополняется за счет предложений, которые являются аналитическими в значительно более широком смысле, чем L-истины. Эти предложения не могут быть описаны как истинные и ложные, пока значения их дескриптивных терминов не будут поняты так же хорошо, как и значения логических терминов. Приведем хорошо известный пример Куайна: «Ни один холостяк не является женатым». Истинность этого предложения, очевидно, не зависит от непредвиденных обстоятельств, зависящих от мира, однако его нельзя назвать истинным в силу одной его логической формы. Кроме знания значений терминов «ни один» и «является», необходимо знать, что́ мы понимаем под словами «холостяк» и «женатый». В таком случае, каждый, кто понимает язык, согласится, что «холостяк» имеет то же значение, что и «мужчина, который не женат». Как только это значение будет признано, предложение немедленно окажется истинным, но не из-за природы мира, а вследствие значений нашего языка, приписываемых дескриптивным словам. Нет даже необходимости понимать эти значения полностью. Важно только знать, что два слова имеют несовместимые значения, так что мужчина не может быть одновременно описан как холостяк и женатый человек.

Я здесь следую за Куайном, который предложил употреблять термин «аналитический» вместо «логически истинный» в более широком смысле, а именно включать сюда не только L-истинные предложения, *но и предложения* только что рассмотренного типа. Я употребляю термин «А-истинно» для аналитических истин в таком широком смысле. Следовательно, все L-истинные предложения являются А-истинными, хотя не все А-истинные предложения являются L-истинными. L-истинные предложения являются истинными вследствие одной своей логической формы. А-истинные предложения являются истинными вследствие значений, приписываемых его дескриптивным терминам, так же как значений логических терминов. В противоположность этому истинность или ложность синтетического предложения определяется не значением его терминов, а фактической информацией о физическом мире. «Тела падают к земле с ускорением 9,81 *м/сек*^{2}». Истинность или ложность этого утверждения не может быть установлена просто путем исследования его значения. Для этого необходима эмпирическая проверка. Такие утверждения обладают «фактуальным содержанием», которое что-то говорит нам о действительном мире.

Разумеется, ни один естественный язык не является настолько точным, чтобы каждый понимал любое слово одинаково. Вследствие этого легко сформулировать предложения, которые будут неопределенными в отношении их аналитичности. Аналитический или синтетический характер таких предложений можно оспаривать.

Рассмотрим, например, утверждение: «Все красноголовые дятлы имеют красные головы». Является ли оно аналитическим или синтетическим? На первый взгляд вы, конечно, ответите, что оно аналитично. «Красноголовые дятлы» *означают* «дятлы, которые имеют красные головы», поэтому предложение эквивалентно утверждению, что все дятлы с красными головами имеют красные головы. Такое предложение не только А-истинно, но также L-истинно.

Вы будете правы, *если* в значении слов «красноголовый дятел» свойство «имеющий красную голову» будет в действительности существенным компонентом значения. Но является *ли* оно существенным компонентом?

Орнитолог может иначе понимать этот термин. Для него он будет обозначать вид птиц, определяемых некоторым типом телесной структуры, формой клюва и привычным поведением. Он может считать совершенно возможным, что в некоторой изолированной области этот вид птиц может подвергнуться мутации, в результате которой цвет их головы станет, скажем, белым. По здравым таксономическим причинам он будет продолжать называть таких птиц красноголовыми дятлами, хотя их головы не будут красными. Они станут разновидностью вида. Ученый может даже отнести их к «белоголовой разновидности красноголовых дятлов». Таким образом, если термин «красноголовый дятел» интерпретируется так, что признак «имеющий красную голову» *не* является существенным компонентом его значения, то предложение станет синтетическим. Чтобы определить, все ли красноголовые дятлы будут с красными головами, необходимо эмпирически обозреть всю их группу.

Даже утверждение: «Если мистер Смит — холостяк, то он не имеет жены», может рассматриваться как синтетическое, если кто-либо будет интерпретировать некоторые слова в нем не общепринятым образом. Например, для юриста слово «жена» может иметь более широкое значение, которое включает и «незаконную жену». Если юрист считает «холостяком» мужчину, не состоящего в законном браке, а «жену» рассматривает в более широком смысле, то ясно, что это предложение будет синтетическим. Чтобы установить его истинность или ложность, следует изучить частную жизнь мистера Смита.

Проблема аналитической истинности может быть обсуждена и относительно искусственного языка наблюдения, который может быть построен с помощью точных правил. Эти правила полностью не характеризуют значений всех дескриптивных терминов в языке, но значение отношений между некоторыми словами должно быть разъяснено с помощью правил, которые я однажды назвал «постулатами значений», но теперь предпочитаю называть более просто, «А-постулатами» (постулатами аналитичности). Мы можем легко представить, как *можно было бы* дать полную характеристику всем дескриптивным словам языка. Например, мы могли бы охарактеризовать значение терминов «животное», «птица» и «красноголовый дятел» с помощью следующих правил обозначения:

(*D*1) Термин «животное» обозначает конъюнкцию следующих свойств (1) ..., (2) ..., (3) ..., (4) ..., (5) ... (здесь должен быть дан полный список определенных свойств).

(*D*2) Термин «птица» обозначает конъюнкцию следующих свойств (1) ..., (2) ..., (3) ..., (4) ..., (5) ... (как в *D*1 выше), плюс дополнительные свойства (6) ..., (7) ..., (8) ..., (9) ..., (10) ... (все свойства, необходимые для характеристики значения термина «птица»).

(*D*3) Термин «красноголовый дятел» обозначает конъюнкцию следующих свойств (1) ..., (2) ... ..., (5) (как в *D*1), плюс (6) ..., (7) ..., (10), (как в *D*2), плюс дополнительные свойства (11) ..., (12) ..., (13) ..., (14) ..., (15) ..., (все свойства, необходимые для характеристики значения термина «красноголовый дятел»).

Если все требуемые свойства написать вместо точек, то очевидно, что правила будут огромной длины и сложности. Нечто подобное будет необходимо, если полностью охарактеризовать значения всех дескриптивных терминов нашего искусственного языка. К счастью, нет необходимости иметь дело с такими длинными и утомительными правилами. А-постулаты могут быть сведены к указанию *отношения значений* между дескриптивными терминами языка. Например, для трех только что рассмотренных терминов необходимы только два А-постулата.

(А1) Все птицы — животные.

(А2) Все красноголовые дятлы — птицы.

Если три D-правила заданы, то два А-постулата могут быть, очевидно, выведены из них. Но поскольку D-правила настолько громоздки, нет необходимости формулировать их, когда цель сводится просто к выяснению аналитической структуры языка. Для этого необходимы только А-постулаты. Они значительно проще и дают достаточное основание для отличия аналитических суждений от синтетических в рассматриваемом языке.

Предположим, что искусственный язык основывается на естественном языке, но мы хотим дать А-постулаты, чтобы во всех случаях было возможно определить, является ли данное предложение аналитическим. В некоторых случаях А-постулаты могут быть получены путем обращения к обычному словарю. Рассмотрим предложение: «Если бутылка выбрасывается из окна, то она раскалывается на части». Является ли оно аналитическим или синтетическим? А-постулат, выведенный из определения, найденного в словаре, гласит: «x раскалывается на части, если и только если x выбрасывается из окна». Сразу же очевидно, что это предложение является А-истинным. Нет необходимости бросать бутылку через окно, чтобы увидеть, раскалывается ли она на части. Истинность предложения следует из значения отношений его дескриптивных слов, которые характеризуются А-постулатом.

Обычный словарь может быть достаточно точным, чтобы мы могли руководствоваться им относительно некоторых предложений, но он мало поможет в других случаях. Рассмотрим, например, такие традиционно неопределенные утверждения: «все люди — разумные животные» и «все люди — двуногие существа, лишенные перьев». Основная трудность здесь состоит в большой неопределенности того, что понимают под словом «люди». В нашем искусственном языке не возникает никакой трудности такого рода, потому что список наших А-постулатов устанавливает это путем точного предписания. Если мы пожелаем интерпретировать слово «люди» таким образом, что «разумность» и «животность» будут существенными компонентами значения этого слова, то предложения «все люди — разумны» и «все люди — животные» окажутся в списке А-постулатов. На основе этих А-постулатов утверждение «все люди — разумные животные» будет А-истинным. С другой стороны, если А-постулаты для термина «люди» относятся только к физическому строению человеческого тела, то утверждение «все люди — разумные животные» будет синтетическим. Если аналогичные А-постулаты не будут выдвинуты для терминов «лишенный перьев» и «двуногий», то это показывает, что в нашем языке «лишенность перьев» и «двуногость» не рассматриваются в качестве существенных компонентов значения термина «люди». Утверждение «все люди — двуногие существа, лишенные перьев», также станет синтетическим. В нашем языке одногий человек все еще будет называться человеком. Человек, у которого вырастут перья на голове, также будет называться человеком.

Важно понять здесь, что, чем более точным становится список А-постулатов, тем более точным может быть сделано различие между аналитическими и синтетическими предложениями в нашем языке. В той мере, в какой эти правила являются неопределенными, в той же мере построенный язык будет содержать предложения, которые неясны в отношении их аналитичности. Любая неясность, которая остается, — и этот пункт является существенным — возникает не из-за неясности в понимании различия между аналитическими и синтетическими истинами. Она возникает из-за неясности в понимании значений дескриптивных слов языка.

Всегда следует иметь в виду, что А-постулаты ничего не говорят о действительном мире, хотя они могут выглядеть и иначе. Рассмотрим, например, термин «теплее». Мы можем захотеть сформулировать А-постулаты с таким расчетом, чтобы отношение, обозначаемое этим термином, было асимметричным. «Для любого x и любого y, если x теплее, чем y, то y не будет теплее, чем x». Если кто-то скажет, что он обнаружил два тела A и B такой природы, что A теплее, чем B, и B теплее, чем A, то мы не будем заявлять ему: «Как удивительно! Что за необыкновенное открытие!» Мы просто ответим ему: «Вы и я по-разному понимаем слово «теплее». Для меня оно означает асимметричное отношение. Следовательно, ситуация, которую вы обнаружили, не может быть описана так, как вы описываете ее». А-постулат, характеризующий асимметричный характер отношения «теплее», относится исключительно к значению слова, как оно употребляется в нашем языке. Он ничего не говорит о природе мира.

В последние годы взгляд о существовании четкого различия между аналитическими и синтетическими утверждениями подвергался сильной критике со стороны Куайна, Мортона Уайта и других[1]. Мой собственный

---

[1] Критика Куайна содержится в его статье «Two Dogmas of Empiricism», «Philosophical Review», 60 (1951), p. 20—43. Перепечатано в кн.: «From a Logical Point of View» (Cambridge, Harvard University Press, 1953), (New York, Harper Torchbook, 1963). См.

взгляд на эти вещи изложен в двух статьях, перепечатанных в приложении ко второму изданию (1956) моей уже цитировавшейся книги «Значение и необходимость». Первая из этих статей «Постулаты значения» представляет ответ Куайну. В ней показывается формальным способом (как я показываю здесь неформально), как можно сделать точным различие между аналитическими и синтетическими утверждениями в построенном языке наблюдения. Для этого следует просто добавить к правилам языка соответствующие А-постулаты. В моей второй статье, «Значение и синонимия в естественных языках», показывается, как это различие может быть сделано не в искусственных, а в обычных языках, таких, как наш повседневный язык. Здесь различие должно основываться на эмпирическом исследовании привычных способов речи. Это включает новые проблемы, которые обсуждаются в статье, но не будут рассматриваться здесь.

До сих пор проблема аналитичности обсуждалась только применительно к языкам наблюдения: языку наблюдения повседневной жизни, науки и сконструированным языкам наблюдения философии науки. По моему убеждению, эта проблема различия аналитических утверждений и синтетических в таких языках в принципе разрешима. Кроме того, я убежден в том, что почти все творчески работающие ученые согласятся, что в языке наблюдения науки такое различие является полезным. Однако, когда мы пытаемся применить такое различие к *теоретическому* языку науки, мы встречаемся с огромными трудностями. В главе 28 будут рассмотрены некоторые из этих трудностей и намечены возможные способы их преодоления.

также его очерк «Carnap and Logical Truth» в кн.: Paul Arthur Schilpp, ed., «The Philosophy of Rudolf Carnap», «La Salle», Ill., Open Court, 1963, p. 385—406 и мой ответ, стр. 915—922. Критику Мортона Уайта см. в его статье: «The Analitic and Synthetic: An Untenable *Dualism*» *в кн.: Sidney Hook*, ed., «John Dewey» (New York, Dial, 1950), and Part 2 of White's «Toward Reunion in Philosophy» (Cambridge, Harvard University Press, 1956), (New York, Atheneum paperback, 1963). Список некоторых важных статей, в которых содержатся возражения Куайну, можно будет найти в кн.: Paul Edwards and Arthur Pap, eds, «A Modern Introduction to Philosophy» (Glencoe, Ill., The Free Press, 1962), p. 89.

Глава 28

АНАЛИТИЧЕСКИЕ УТВЕРЖДЕНИЯ В ТЕОРЕТИЧЕСКОМ ЯЗЫКЕ

Прежде чем объяснить, как я считаю возможным сделать ясным различие между аналитическим и синтетическим в теоретическом языке науки, важно сначала понять огромные трудности, связанные с этим, и как они возникают из-за того, что Т-терминам (теоретическим терминам) нельзя дать полной интерпретации. Эта проблема не возникает в языке наблюдения. Предполагается, что все отношения значений между дескриптивными терминами в языке наблюдения выражаются с помощью подходящих А-постулатов, как разъяснено в предыдущей главе. Однако для Т-терминов ситуация совершенно отлична. Не существует никакой полной эмпирической интерпретации для таких терминов, как «электрон», «масса» и «электромагнитное поле». Верно, что можно наблюдать трек в пузырьковой камере и объяснить его прохождением электрона в камере. Но такие наблюдения дают только частичную, косвенную эмпирическую интерпретацию Т-терминам, с которыми они связаны.

Рассмотрим, например, теоретический термин «температура», как он употребляется в молекулярной кинетической теории. Существуют С-постулаты (правила соответствия), которые связывают этот термин, например, с конструкцией и использованием термометра. После того как термометр погружают в жидкость, наблюдают шкалу отсчета. С-постулаты связывают эту процедуру с Т-термином «температура» таким образом, что отсчет шкалы обеспечивает частичную интерпретацию этого термина. Она является частичной потому, что эта конкретная интерпретация «температуры» не может быть использована для всех предложений теории, в которых этот термин встречается. Обычный термометр работает только в узком интервале температурной шкалы. Существуют температуры, ниже которых любая испытуемая жидкость замерзает, и температуры, выше которых она превращается в пар. Для таких температур должны быть использованы совершенно другие методы измерения. Каждый метод с помощью С-постулатов связывается с теоретическим понятием «температура», но нельзя сказать, что это исчерпывает эмпирическое значение термина «температура». Новые наблюдения в будущем могут привести к новым C постулатам, которые дополняют эмпирическую интерпретацию понятия.

Гемпель в разделе 7 своей монографии «Методы образования понятия в науке» нарисовал запоминающуюся картину структуры теории.

Научная теория может быть уподоблена, таким образом, сложной сети: ее термины представляются узлами, тогда как нити, их связывающие, соответствуют частично определениям и частично основным и производным гипотезам, входящим в теорию. Вся система держится, так сказать, над плоскостью наблюдения и закрепляется с помощью правил интерпретации. Эти правила можно рассматривать как нити, которые не являются частью самой сети, но связывают некоторые части ее с определенными местами в плоскости наблюдения. С помощью такой интерпретационной связи сеть может функционировать как научная теория.

От некоторых данных наблюдения мы можем восходить, с помощью интерпретационной нити, к некоторым пунктам в теоретической сети, от них через определения и гипотезы — к другим пунктам, от которых другие интерпретационные нити позволяют спускаться к плоскости наблюдения [1].

Проблема состоит в том, чтобы найти способ для различения аналитических утверждений и синтетических в языке, который говорит о такой сложной сети. Легко распознать L-истинные предложения, то есть предложения, которые истинны благодаря своей логической форме. «Если все электроны имеют магнитные моменты и частица x не обладает никаким магнитным моментом, тогда эта частица x не является электроном». Очевидно, что это предложение L-истинно. Нет необходимости что-либо знать о значениях его дескриптивных слов, чтобы увидеть, что оно истинно. Но как отличить предложения, которые являются аналитическими (истинными, благодаря значениям их терминов, включая дескриптивные), от предложений синтетических (истинность которых не может быть установлена без наблюдения действительного мира)?

---

[1] Цитата из монографии Гемпеля: Carl G. Hempel, Methods of Concept Formation in Science, «International Encyclopedia of Unified Science», Vol. 2, № 7; «Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science» (Chicago, University of Chicago Press, 1952, p 23—38).

Чтобы распознать аналитическое предложение в теоретическом языке, необходимо иметь А-постулаты, которые характеризуют отношения значений между теоретическими терминами. Утверждение является аналитическим, если оно представляет логическое следствие из А-постулатов. Оно должно быть истинно таким путем, который не требует наблюдения реального мира; оно должно быть лишено фактуального содержания. Оно должно быть истинно исключительно благодаря значениям его терминов, так же как утверждение наблюдения «ни один холостяк не является женатым» истинно благодаря значениям слов «холостяк» и «женатый». Эти значения можно уточнить с помощью правил языка наблюдения. Как можно сформулировать соответствующие А-постулаты, чтобы распознать аналитические утверждения в теоретическом языке, содержащем теоретические термины, для которых не имеется полной интерпретации?

Вероятно, первая мысль, которая возникает, состоит в том, что одни Т-постулаты могут служить в качестве А-постулатов. Верно, что путем объединения Т-постулатов с логикой и математикой может быть построена дедуктивная теория, но такая теория представляет абстрактную дедуктивную систему, в которой теоретические термины не имеют даже частичной интерпретации. Знакомым примером служит евклидова геометрия. Она представляет неинтерпретированную структуру чистой математики. Чтобы стать естественно-научной теорией, ее дескриптивные термины должны быть интерпретированы, по крайней мере частично. Это означает, что ее терминам должно быть придано эмпирическое значение, конечно, посредством правил соответствия, которые связывают ее исходные термины с определенными сторонами физического мира. Тем самым евклидова геометрия преобразуется в физическую геометрию. Мы говорим, что свет распространяется «по прямым линиям», нити в окуляре телескопа пересекаются в «точке» и планеты движутся вокруг Солнца по «эллипсам». Пока абстрактная математическая структура не будет интерпретирована (хотя бы частично) с помощью С-постулатов, семантическая проблема отличия аналитического предложения от синтетического даже не возникает. Т-постулаты теории не могут быть использованы в качестве А-постулатов, потому что они не могут дать Т-терминам эмпирическое значение.

Можно ли использовать С-постулаты в качестве А-постулатов? С-постулаты нельзя, конечно, рассматривать отдельно. Чтобы получить наиболее полную из возможных интерпретаций (хотя она будет все еще частичной) для Т-терминов, необходимо рассмотреть всю теорию, с объединенными Т- и С-постулатами. Допустим, что мы принимаем в расчет всю теорию. Могут ли объединенные Т- и С-постулаты обеспечить нам А-постулаты, которые мы ищем? Нет. Теперь мы предполагаем *слишком много*. В действительности, мы имеем теперь все эмпирические значения, которые можно придать нашим теоретическим терминам, но мы получили также фактическую информацию. Объединение Т и С-постулатов дает нам, таким образом, синтетическое утверждение, и, как мы видели, такое утверждение не может дать А-постулатов.

Поясним это на примере. Допустим, мы будем говорить, что Т- и С-постулаты общей теории относительности будут служить в качестве А-постулатов для распознавания аналитических предложений этой теории. На основе Т- и С-постулатов с помощью логики и математики мы можем заключить, что свет, идущий от звезды, будет отклоняться гравитационным полем Солнца. Нельзя ли сказать, что это заключение является аналитическим, истинным всецело благодаря эмпирическим значениям, которые приписываются всем его дескриптивным терминам? Нет, нельзя, потому что общая теория относительности дает только условные предсказания о мире, которые могут быть подтверждены или опровергнуты эмпирической проверкой.

Рассмотрим, например, утверждение «Эти две фотопластинки получены от той же самой системы звезд. Первая получена во время полного солнечного затмения, когда затемненный диск Солнца находился внутри системы звезд. Вторая — когда Солнце не появлялось вблизи этой системы». Назовем это утверждением *А*. Утверждение *В* будет таково: «На первой пластинке изображения звезд, очень близкие к краю затемненного Солнца, будут слегка смещены от их положения на второй пластинке, и эти смещения направлены от Солнца».

Условное утверждение, «если *A*, то *B*», представляет утверждение, которое может быть выведено из общей теории относительности. Но оно также является утверждением, которое можно будет *проверить наблюдением*. Действительно, как показано в главе 16, исторически проверка этого утверждения была осуществлена Финдлеем Фрейндлихом в 1919 году. Он знал, что *A* было истинно. После тщательных измерений изображений пятен света на двух пластинках он обнаружил, что *B* также истинно. Если бы он нашел, что *B* ложно, то условное утверждение «Если *A*, то *B*» было бы опровергнуто. Это в свою очередь опровергло бы теорию относительности, из которой было выведено утверждение «Если *A*, то *B*». Таким образом, существует фактическое содержание в теоретическом утверждении о том, что свет звезд отклоняется гравитационными полями.

Изложим то же самое более формально. После того как будут охарактеризованы Т- и С-постулаты теории относительности, можно на основе данного множества посылок *A* в языке наблюдения вывести другую совокупность предложений *B* в том же самом языке. Эти предложения не могут быть выведены без *TC*, то есть всей теории. Утверждение «Если *A*, то *B*» является, таким образом, логическим следствием конъюнкции *T* и *C*. Если *T* и *C* берутся в качестве А-постулатов, то необходимо будет рассматривать утверждение «Если *A*, то *B*», как аналитическое. Очевидно, однако, что оно не является аналитическим. Оно представляет синтетическое утверждение языка наблюдения. Поэтому оно будет опровергнуто, если наблюдение действительного мира подтвердит истинность *A* и ложность *B*.

Куайн и другие философы науки доказывают, что различие здесь настолько значительно, что дихотомия аналитического — синтетического в прежнем своем смысле не может быть применена к теоретическому языку науки. Совсем недавно этот взгляд очень ясно был изложен Гемпелем.[1] Гемпель хотел, возможно с колебаниями, признать эту дихотомию в отношении к языку наблюдения. Рассматривая вопрос о ее пользе

---

[1] См. две статьи Гемпеля: «The Theoretician's Dilemma» в: Herbert Feigl, Michael Scriven and Grover Maxwell, eds., «Minnesota Studies in the Philosophy of Science» (Minneapolis, Minn., Univer-

для теоретического языка, он сильно защищал куайновский скептицизм. Двойная роль *T*- и *C*-постулатов, утверждает он, делает понятие аналитической истины относительно теоретического языка совершенно неуловимым. Едва ли можно представить, считает он, что существует способ разделения этих двух функций Т- и С-постулатов таким образом, что можно было бы сказать, что эта часть их образует значение и, следовательно, предложения, которые основываются на ней; если они истинны, то истинны только благодаря значению, в то время как все другие предложения являются фактуальными.

Один из радикальных способов разрешить или, скорее, избежать всех трудных проблем, связанных с теоретическими терминами, был предложен Рамсеем. Как показано в главе 26, можно сформулировать все наблюдательное содержание теории в предложении, известном как предложение Рамсея, ^{R}TC, в котором встречаются только наблюдательные и логические термины. Можно будет сказать, что теоретические термины «квантифицированно исчезают». Поскольку не существует здесь никаких теоретических терминов, то не существует и никакого теоретического языка. Проблема определения аналитического утверждения для теоретического языка исчезает. Но это представляет слишком радикальный шаг. Как было показано раньше, отказ от теоретических терминов науки приводит к огромной сложности и неудобствам. Теоретические термины в огромной степени упрощают задачу формулирования законов и уже по этой одной причине не могут быть исключены из языка науки.

Я верю, что существует путь решения проблемы посредством использования предложения Рамсея, но только таким образом, чтобы не делать последнего, крайнего рамсеевского шага. Путем некоторых различий можно будет получить желаемую дихотомию между аналитическими и синтетическими истинами в теоретическом языке и в то же время сохранить теоретические термины и предложения теории.

---

sity of Minnesota Press, 1956), Vol. II, и «Implications of Carnap's Work for the Philosophy of Science» в: Paul Arthur Schilpp, ed., «The Philosophy of Rudolf Carnap» (La Salle, Ill., Open Court, 1963).

До сих пор мы рассматривали теорию как состоящую из двух «предложений»: предложения T, конъюнкции всех Т-постулатов, и предложения C, конъюнкции всех С-постулатов. Теория TC представлялась в виде конъюнкции этих двух предложений.

Я предложу другой способ, при котором теория TC может быть разделена на два предложения, таких, что, взятые вместе, они будут эквивалентны всей теории. Для этого разделим теорию на предложение A_T и предложение F_T. Предложение A_T предназначено служить в качестве А-постулата для всех теоретических терминов теории. Оно должно, конечно, быть лишено всякого фактического содержания. Предложение F_T служит для выражения всего наблюдаемого или фактического содержания теории. Как уже указывалось, само предложение Рамсея ^{R}TC служит именно этой цели. Оно выражает в языке наблюдения, включающем всю необходимую математику, все, что теория говорит о реальном мире. Это предложение не дает никакой интерпретации теоретическим терминам, потому что никакие термины такого рода не встречаются в предложении. Таким образом, предложение Рамсея ^{R}TC берется как фактуальный постулат F_T.

Два предложения F_T и A_T, взятые вместе, должны логически имплицировать всю теорию TC. Как можно сформулировать предложение A_T, которое удовлетворяет этим требованиям? Для любых двух предложений S_1 и S_2 самым слабейшим предложением, которое вместе с S_1 логически имплицирует S_2, будет условное утверждение «если S_1, то S_2». В символической форме это выражается с помощью знакомого символа для материальной импликации: «$S_1 \supset S_2$». Следовательно, простейший способ сформулировать А-постулаты A_T для теории TC таков:

$$(A_T) \qquad {}^{R}TC \supset TC.$$

Можно легко показать, что это предложение в фактическом отношении пусто. Оно ничего не говорит о мире. Все фактическое содержание представлено в предложении F_T, которое является предложением Рамсея ^{R}TC. Предложение A_T просто утверждает, что *если* предложение Рамсея истинно, тогда мы должны понимать теоретические термины таким образом, чтобы вся теория была истинной. Оно есть чисто аналитическое предложение, потому что его семантическая истинность основывается на значениях, приписываемых теоретическим терминам. Это утверждение, связанное с самим рамсеевским предложением, будет тогда L-имплицировать всю теорию.

Посмотрим, как этот любопытный постулат $^{R}TC \supset TC$ дает способ для отличия аналитических утверждений от синтетических в теоретическом языке. Предложение Рамсея ^{R}TC синтетично. Его истинность может быть установлена только путем действительных наблюдений мира. Но любое утверждение, L-имплицируемое данным A-постулатом, будет аналитическим.

Здесь, как и в случае с аналитическими предложениями языка наблюдения, существует широкий смысл, в котором A-постулаты что-то говорят о мире. Но в строгом смысле они не относятся к миру. A-постулат устанавливает, что если существуют объекты (обозначенные кванторами существования рамсеевского предложения), которые связаны всеми отношениями, выраженными в теоретических постулатах теории и соотнесенными к наблюдаемым объектам с помощью постулатов соответствия, то сама теория будет истинной. A-постулат, *кажется*, что-то говорит о мире, тогда как в действительности этого нет. Он не говорит нам, является ли теория истинной, а мир функционирует так-то. A-постулат только говорит, что *если* мир функционирует определенным образом, то теоретические термины должны быть поняты, как удовлетворяющие теории.

В главе 26 был рассмотрен пример теории с шестью теоретическими понятиями, именно два класса и четыре отношения. Была дана схематическая формулировка (в контексте просто указывается точками) теории TC и ее рамсеевского предложения ^{R}TC. С точки зрения этого примера A-постулаты для этой теории могут быть сформулированы следующим образом:

$$(A_T) \qquad (\exists C_1)(\exists C_2)(\exists R_1)(\exists R_2)(\exists R_3)(\exists R_4)$$
$$[\ldots C_1 \ldots C_2 \ldots R_1 \ldots R_2 \ldots R_3 \ldots R_4;$$
$$\ldots R_1 \ldots O_1 \ldots O_2 \ldots O_3 \ldots R_2 \ldots O_4 \ldots$$
$$\ldots O_m \ldots] \supset [\ldots \text{Мол} \ldots \text{Н-мол} \ldots \text{Темп} \ldots$$
$$\ldots \text{Дав} \ldots \text{Мас} \ldots \text{Ск} \ldots; \ldots \text{Темп} \ldots$$
$$O_1 \ldots O_2 \ldots O_3 \ldots \text{Дав} \ldots O_4 \ldots O_m \ldots].$$

Здесь утверждается, что если мир таков, что существует по крайней мере один из шести объектов (два класса и четыре отношения), которые связаны друг с другом и наблюдаемыми объектами O_1, O_2, ..., O_m, как характеризуется в теории, тогда теоретические объекты Мол, Н-мол, Темп, Дав, Мас и Ск образуют шестерку, которая удовлетворяет теории. Важно понять, что это не есть фактическое высказывание, утверждающее, что при некоторых условиях шесть охарактеризованных объектов фактически удовлетворяют теории. Шесть теоретических терминов не называют шесть отмеченных объектов. До установления А-постулатов A_T эти термины не имеют никакой интерпретации, даже частичной. Единственная интерпретация, которую они получают в этой форме теории, является частичной интерпретацией, которую они получают *через этот А-постулат*. Следовательно, постулат в конечном счете говорит, что если имеется одна или больше шестерок объектов, которые удовлетворяют теории, то шесть теоретических терминов должны интерпретироваться как обозначающие шесть объектов, образованных шестерками такого рода. Если фактически имеются шестерки такого рода, то постулат дает частичную интерпретацию теоретическим терминам путем ограничения шестерок, подходящих для обозначения такого рода. Если, с другой стороны, не существует никаких шестерок такого рода, — иными словами, если предложение Рамсея окажется ложным, — то постулат является истинным независимо от его интерпретации (поскольку, если «A» ложно, импликация «$A \supset B$» истинна). Следовательно, постулат не дает даже частичной интерпретации теоретическим терминам.

Как только все это будет полностью понято, не будет существовать никакого препятствия, чтобы рассматривать условное утверждение $^{R}TC \supset TC$ в качестве А-постулата для TC, подобно тому как А-постулаты рассматриваются в языке наблюдения. Так же как А-постулат в языке наблюдения что-то говорит нам о значении термина «теплее», так и А-постулат для теоретического языка дает некоторую информацию о значении теоретических терминов, таких, как «электрон» и «электромагнитное поле». Эта информация в свою очередь позволяет нам обнаружить, что некоторые теоретические предложения являются аналитическими, а именно те, которые следуют из А-постулата A_T.

Теперь можно точно сказать, что́ понимается под А-истиной в полном языке науки. Предложение является А-истинным, если оно логически имплицируется (L-имплицируется) объединенными А-постулатами, то есть А-постулатами языка наблюдения и А-постулатом любого данного теоретического языка. Предложение А-ложно, если его отрицание А-истинно. Если оно ни

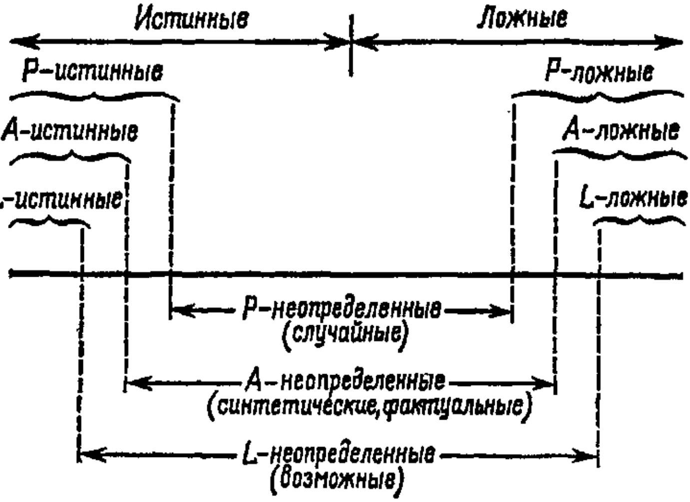


Рис. 28-1.

А-истинно, ни А-ложно, то оно представляет синтетическое утверждение.

Я употребляю термины «Р-истинно» — истинно на основе постулатов, — для того рода истин, которыми предложения обладают тогда и только тогда, когда они логически имплицируются (L-имплицируются) постулатами, а именно F-постулатом (предложение Рамсея) вместе с А-постулатами языка наблюдения и теории. Другими словами, Р-истина основывается на трех постулатах: F_T, A_O и A_T. Но поскольку F_T и A_T вместе эквивалентны TC, первоначальной форме теории, то можно будет также представить все постулаты как TC и A_O.

На основе различия разных типов истин и соответствующих типов лжи может быть дана общая классификация предложений научного языка. Она может быть изображена так, как представлено на рис. 28-1. Эта классификация зачеркивает предыдущее разделение предложений языка на логические, наблюдательные, теоретические и смешанные, которое было дано раньше и основывалось на типах терминов, встречающихся в предложениях.

Как заметит читатель, традиционный термин «синтетический» заменяется «А-неопределенностью». Это кажется вполне естественным, поскольку термин «А-истина» употребляется для тех понятий, которые определяются как экспликация обычного термина «аналитический» (или «аналитически истинный»). С другой стороны, термин «Р-неопределенность» применяется к более узкому классу, а именно к тем А-неопределенным (или синтетическим) предложениям, истинность или ложность которых не определяется даже постулатами теории *TC*, как, например, основные законы физики или некоторых других областей науки. Здесь в качестве замены предлагается термин «случайный».

Я не хочу быть догматичным в этой программе классификации, и в частности в определении А-истины, основанной на предложенном А-постулате. Скорее я выдвигаю пробное решение проблемы определения аналитических утверждений в теоретическом языке. Раньше, хотя я и не разделял пессимизма Куайна и Гемпеля, я всегда считал это серьезной проблемой и не мог видеть удовлетворительного ее решения. В то время я считал, что мы должны рассматривать в качестве аналитических только такие предложения, которые содержат теоретические термины и никаких наблюдательных, причем в наиболее узких и почти тривиальных условиях, так что они представлялись L-истинными. Например, «либо частица представляет электрон, либо не электрон». Наконец, после многих лет исследования я обнаружил этот новый подход, с новыми А-постулатами[1]. Никакие трудности не были обнаружены при таком подходе. Я склонен считать это решением проблемы, и, если появятся трудности, будет возможно преодолеть их.

---

[1] Более формальное изложение этого подхода можно найти в моей статье (1958 год), цитировавшейся в главе 26, прим. 2, и в моем ответе Гемпелю в кн.: Schilp, op. cit., p. 958—966.

Часть VI

ЗА ПРЕДЕЛАМИ ДЕТЕРМИНИЗМА

Глава 29

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ

В прошлом философы науки очень много занимались таким вопросом: «Какова природа причинности?» В предыдущих главах я попытался разъяснить, почему этот путь не является наилучшим для формулировки проблемы. Какого бы рода причинность ни существовала в мире, она выражается с помощью законов науки. Если мы хотим исследовать причинность, мы можем сделать это только путем исследования таких законов, изучения способов, с помощью которых они выражаются, и того, как они подтверждаются или опровергаются экспериментом.

При исследовании законов науки оказалось удобным отличать эмпирические законы, которые имеют дело с наблюдаемыми объектами, от теоретических законов, относящихся к ненаблюдаемым объектам. Мы видели, что, хотя и не существует резкой границы, отделяющей ненаблюдаемое от наблюдаемого, и, следовательно, никакой жесткой границы, отделяющей эмпирические законы от теоретических, тем не менее такое различие является полезным. Другое важное и полезное различие, которое относится и к эмпирическим и теоретическим законам, есть различие между детерминистическими и статистическими законами. Это различие встречалось и раньше, но в настоящей главе мы обсудим его подробнее.

Детерминистический закон есть закон, который утверждает, что при определенных условиях будут иметь место точно определенные вещи. Как уже указывалось, законы такого рода могут быть установлены либо в качественных, либо количественных терминах. Утверждение о том, что, когда железный стержень нагревается, его длина увеличивается, есть *качественное* утверждение. Утверждение о том, что, когда этот стержень нагревается до некоторой температуры, его длина увеличивается на определенную величину, представляет количественное утверждение. Количественный детерминистический закон всегда устанавливает, что если определенные величины имеют определенные значения, то другая величина (или одна из прежних величин в другое время) будет также иметь точно определенное значение. Короче, такой закон выражает функциональную связь между значениями двух или нескольких величин.

Статистический закон устанавливает, однако, только вероятностное распределение для значений величин в индивидуальных случаях. Он дает только среднее значение величины в классе случаев. Например, статистический закон устанавливает, что если игральную кость кубической формы бросить шестьдесят раз, то выпадение определенной грани можно ожидать самое большее в десяти случаях. Закон не предсказывает, что́ произойдет в любом конкретном случае бросания, он также достоверно не утверждает, что́ случится при шестидесяти бросаниях. Он только говорит, что если будет сделано очень большое число бросаний, то выпадение данной грани можно ожидать приблизительно так же часто, как и любой другой. Поскольку здесь имеется шесть равновозможных случаев в силу симметричности граней куба, то вероятность выпадения любой грани равна $^1/_6$. Вероятность здесь употребляется в статистическом смысле, означающем относительную частоту при длительных бросаниях, а не в логическом или индуктивном смысле, которую я называю степенью подтверждения.

Статистические законы были довольно обычными в девятнадцатом веке, но ни один физик тогда не представлял себе, что такие законы указывают на отсутствие детерминизма в основных законах природы. Они считали, что статистические законы введены либо из-за удобства, либо потому, что отсутствует достаточное знание для описания ситуации детерминистическим путем.

Сведения, публикуемые правительством после переписи населения, являются знакомыми примерами утверждений, выраженных в статистической форме скорее по причинам удобства, чем незнания. Во время переписи правительство пытается получить от каждого индивидуума отчет о его возрасте, поле, расе, месте рождения, числе иждивенцев, состоянии здоровья и т. п. Путем тщательного подсчета всех этих факторов правительство в состоянии получить ценную статистическую информацию. (В прежние времена подсчет и вычисления делались вручную. Обычно существовал десятилетний интервал времени от одной переписи к другой, и иногда новая перепись начиналась, когда не были закончены подсчеты старой. В настоящее время данные наносятся на карточки и быстро обрабатываются с помощью вычислительных машин). Данные выявляют определенный процент лиц выше шестидесятилетнего возраста, определенный процент врачей, процент страдающих туберкулезом и т. п. Статистические данные такого рода необходимы для того, чтобы свести огромное число фактов в обозримую форму. Это не означает, что индивидуальные факты неизвестны, это только показывает, что крайне неудобно выражать их в виде индивидуальных фактов. Вместо миллионов отдельных утверждений, таких, как «... и есть также мистер Смит из Сан-Франциско, родившийся в Сиетле (Вашингтон), семидесяти пяти лет, имеющий четырех детей и десять внуков», информация концентрируется в кратком статистическом утверждении. Это делается для удобства, хотя все, подлежащие изучению факты, точно известны.

Иногда, хотя отдельные факты неизвестны, можно получить информацию о них. Например, вместо полного описания каждого индивидуума в большой популяции можно будет исследовать только репрезентативную выборку. Если выборка показывает, что некоторый процент жителей в популяции имеет свои собственные дома, можно заключить, что примерно такой же процент домовладельцев будет в целой популяции. Можно проверить каждого индивида в популяции, но вместо того, чтобы тратить время и средства на это, проверяют выборку. Если выборка сделана тщательно, так что имеются веские основания считать ее репрезентативной, можно получить хорошую общую оценку.

Даже в физических и биологических науках часто удобно делать статистические утверждения, хотя индивидуальные факты являются известными или нетрудно найти их. Человек, выращивающий растения, может обнаружить, что примерно тысяча растений с красными цветами была подвержена определенным воздействиям. В следующем поколении около 75 процентов цветов вместо красных будут белыми. Ботаник может точно знать число белых и красных цветов или, если не знает, то может узнать путем точного подсчета. Но если нет необходимости в такой точности, для него может оказаться удобным выразить результаты приближенно в процентах.

Иногда крайне трудно или даже невозможно получить точную информацию об индивидуальных случаях, хотя легко увидеть, как она *могла бы* быть получена. Например, если мы могли бы измерить все величины, характеризующие падение игральной кости, — точное ее положение перед бросанием, приданную ей скорость, вес и упругость, характер поверхности, от которой она отскакивает, и т. п., — то можно было бы точно предсказать, как легла бы кость. Поскольку машины для таких измерений в настоящее время отсутствуют, мы должны довольствоваться статистическими законами, выражающими частоту при продолжительном испытании.

В девятнадцатом столетии кинетическая теория газов привела к формулировке многих вероятностных законов в той области науки, которая теперь известна как статистическая механика. Если некоторое количество, скажем, кислорода обладает определенным давлением и температурой, здесь будет существовать определенное распределение скоростей его молекул. Оно называется распределением Максвелла — Больцмана. Этот закон утверждает, что для каждого из трех компонентов скорости вероятностное распределение будет так называемой нормальной (или гауссовой) функцией, изображаемой с помощью известной кривой, имеющей форму колокола. Это — статистический закон о ситуации, в которой факты относительно каждой молекулы было бы технически невозможно получить. Здесь незнание — и этот пункт является важным — коренится глубже, чем в предыдущих примерах. Даже в случае игральной кости можно было бы в принципе построить инструменты для анализа всех относящихся фактов. Эти факты могли бы быть заданы электронной вычислительной машине, и, прежде чем кость упала бы, машина мгновенно дала бы ответ: «Выпадет шестерка». Но когда рассматривают молекулы газа, не имеется никакой знакомой техники, с помощью которой можно было бы измерить направление и скорость каждой отдельной молекулы и затем проанализировать миллиарды результатов для того, чтобы проверить, выполняется ли для них распределение Максвелла — Больцмана. Физики сформулировали такой закон как микрозакон, нашедший свое выражение в теории газов и подтвержденный проверкой различных следствий, выведенных из этого закона. Такие статистические законы в XIX веке были весьма обычными в тех областях, где невозможно было получить индивидуальные факты. В настоящее время законы такого типа используются во всех областях науки, особенно в биологии и социальных науках.

Физики девятнадцатого века полностью сознавали, что вероятностные законы о газах или законы, относящиеся к поведению людей, скрывают более глубокое незнание, чем незнание, с которым связано бросание игральной кости. Тем не менее они были убеждены в том, что такую информацию можно было бы получить *в принципе*. Разумеется, никаких технических средств для измерения индивидуальных молекул не было, но это связывалось только с ограниченными возможностями существующих инструментов. Под микроскопом физик может видеть мельчайшие частицы, взвешенные в жидкости и совершающие странные беспорядочные движения из-за столкновений с невидимыми молекулами. С помощью более хороших инструментов могут наблюдаться все меньшие и меньшие частицы. В будущем, вероятно, могут быть построены инструменты для измерения положения и скоростей отдельных молекул.

Существуют, конечно, серьезные оптические ограничения. Физики девятнадцатого века также знали, что, когда частица не больше длины волны видимого света, невозможно увидеть ее в какой-либо микроскоп обычного типа. Но это не исключало возможности построения других видов инструментов, которые могут измерять частицы, меньшие, чем длина волны света. Действительно, современные электронные микроскопы позволяют «видеть» объекты, которые ниже теоретического предела оптических микроскопов. Ученые девятнадцатого столетия были убеждены, что в принципе не существует никакого предела точности, с которой могут наблюдаться все меньшие и меньшие объекты.

Они сознавали также, что никакое наблюдение не является *совершенно* точным. Всегда существует элемент неопределенности. *Все* законы науки в этом тривиальном смысле являются статистическими. Важно то, что эта точность всегда может быть увеличена. Сегодня, говорили физики прошлого века, можно измерить нечто с точностью до двух десятичных знаков. Завтра будет возможно достичь точности в три десятичных знака, а через десятилетия, может быть, мы достигнем точности в двадцать или сто десятичных знаков. Тогда казалось, что не будет никакого предела точности, которая может быть получена при любом роде измерения. Физики прошлого века и многие философы считали само собой разумеющимся, что за макрозаконами с их неизбежными ошибками измерения имеются микрозаконы, которые являются точными и детерминистическими. Разумеется, в действительности молекулы нельзя видеть. Но если две молекулы сталкиваются, то их последующее движение будет, конечно, полностью определяться условиями, существовавшими до столкновения. Если все эти условия будут известны, можно будет точно предсказать, как будут вести себя сталкивающиеся молекулы. Как может быть иначе? Ведь поведение молекул должно зависеть от *чего-то*. Оно не может быть произвольным и случайным. Основные законы физики должны быть детерминистическими.

Физики прошлого столетия также признавали, что основные законы являются идеализациями, редко представляемыми в чистой форме из-за влияния посторонних факторов. Они выражали это путем отличия основных законов от «ограниченных» законов, которые выводятся из основных. Ограниченный закон представляет собой просто закон, сформулированный с оговорками. Он говорит, например, о том, что происходит или произойдет *только* при «нормальных» обстоятельствах. Рассмотрим пример: «Железный стержень, нагретый от температуры замерзания воды до точки ее кипения, увеличится в длине». Это будет неверно, если стержень сжать сильными тисками, которые будут оказывать достаточное давление на его концы. Этот закон ограничивается, следовательно, в том смысле, что он считается выполняющимся только при нормальных обстоятельствах, то есть когда на стержень не действуют никакие другие силы, мешающие эксперименту.

За всеми ограниченными законами стоят фундаментальные законы, которые выражают безусловные утверждения. «Два тела притягиваются друг к другу с гравитационной силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними». Это — безусловное утверждение. Там могут быть, конечно, другие силы, такие, как магнитное притяжение, которые могут изменить движение одного из тел, но они не могут изменить величину и направление гравитационной силы. Нет необходимости добавлять к этому закону какое-либо ограничивающее предложение. Другой пример представляют уравнения Максвелла для электромагнитного поля. Они считались выполняющимися, безусловно, с абсолютной точностью. Великая картина, представленная ньютоновской физикой, была картиной мира, в котором все события могли быть в принципе объяснены с помощью основных законов, которые были полностью свободны от индетерминизма. Как показано в предыдущих главах, Лаплас дал классическую формулировку этой точки зрения, заявив, что воображаемый ум, который бы знал все фундаментальные законы и все факты о мире в один момент его истории, был бы в состоянии вычислить все прошлые и будущие события в мире.

Эта утопическая картина была разрушена возникновением квантовой механики, как мы покажем в последней главе,

Глава 30

ИНДЕТЕРМИНИЗМ В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

Существенно недетерминистический характер квантовой механики основывается на принципе индетерминизма, иногда называемом принципом неопределенности, или соотношением неопределенностей. Впервые он был установлен в 1927 году Вернером Гейзенбергом. Грубо говоря, этот принцип утверждает, что некоторые пары величин, называемые «сопряженными», в принципе невозможно одновременно измерить с высокой точностью.

Примерами таких пар являются:

1) координата x (q_x) [1] данной частицы в данное время (относительно заданной системы координат);

2) компонента $x(p_x)$ импульса той же частицы в то же время. (Эта компонента представляет произведение массы частицы и компоненты x ее скорости.)

То же относится к парам q_y и p_y, а также q_z и p_z. Допустим, что измеряют две сопряженные величины p и q и находят, что p лежит внутри некоторого интервала Δp, а q — интервала Δq. Принцип неопределенности Гейзенберга утверждает, что, если мы попытаемся точно измерить p, то есть сделать Δp очень малым, мы не можем в то же время точно измерить q, то есть сделать очень малым Δq. Более подробно, произведение Δp и Δq не может быть сделано меньше некоторого значения, которое выражается квантовой постоянной Планка h [2]. Если сопряженными величинами служат компоненты положения и импульса частицы, то принцип неопределенности утверждает, что невозможно в принципе одновременно измерить обе эти величины с высокой степенью точности. Если мы точно знаем, где находится частица, то компоненту ее импульса нельзя определить вполне точно. А если мы точно знаем, каков ее импульс, то мы не можем точно указать, где находится частица. На практике, конечно, неточности измерения такого рода значительно большие, чем тот ми-

---

[1] В скобках даются обобщенные координаты. — *Прим. перев.*
[2] А именно $\Delta p \cdot \Delta q \cong h$. — *Прим. перев.*

нимум, который предписывается принципом неопределенности. Важный пункт, следствия которого огромны, состоит в том, что эта неточность составляет часть основных законов квантовой теории. Границы, устанавливаемые принципом неопределенности, не должны рассматриваться как обусловленные несовершенством измерительных инструментов и, следовательно, как нечто такое, что может быть уменьшено путем совершенствования измерительной техники. Это — фундаментальный закон, который должен иметь место до тех пор, пока законы квантовой теории формулируются в настоящем виде.

Это не означает, что законы, принятые в физике, не могут быть изменены или что принцип неопределенности Гейзенберга не может быть никогда отклонен. Тем не менее я считаю справедливым утверждение, что его устранение вызвало бы революционное изменение в основной структуре современной физики. Некоторые физики в настоящее время убеждены (как был убежден Эйнштейн), что эта черта современной квантовой механики сомнительна и когда-то может быть отброшена. Это возможно, но такой шаг будет радикальным. В настоящее время никто не может предвидеть, как может быть исключен принцип неопределенности.

Аналогичное и столь же важное различие между квантовой теорией и классической физикой состоит в понятии мгновенного состояния физической системы. Рассмотрим, например, физическую систему, состоящую из множества частиц. В классической физике состояние такой системы в момент t_1 полностью описывается заданием для каждой частицы значений следующих величин (иногда называемых «переменными состояния»; я буду называть их «параметрами состояния»):

а) три переменных для координаты при t_1,

б) три компоненты импульса при t_1.

Допустим, что эта система остается изолированной в течение промежутка времени от t_1 до t_2, то есть на протяжении этого интервала времени она не подвергается внешнему воздействию. Тогда на основе заданного состояния системы при t_1 законы классической механики однозначно определяют ее состояние (значения всех параметров состояния) при t_2.

В квантовой механике картина совсем другая. (Мы не рассматриваем здесь различие в природе этих частиц, которые принимаются за неделимые. В современной физике такой характер приписывается не атомам, а только более мелким частицам, таким, как электроны и протоны. Хотя такое различие означает громадный шаг в современном развитии физики, оно не существенно для нашего обсуждения формальных методов определения состояния системы.) В квантовой механике множество параметров состояния для данной системы в данное время называется «полным», если, во-первых, в принципе возможно *одновременно измерить* все *эти* параметры и, во-вторых, для любого другого состояния значение параметра, который может быть измерен вместе с другими параметрами множества, будет определяться их значениями. Так в нашем примере класса частиц полное множество может состоять из следующих величин: для некоторых частиц координаты q_x, q_y и q_z. Для некоторых других — компоненты импульсов p_x, p_y и p_z. Для других p_x, q_y, p_z или q_x, q_y, p_z. Для каких-либо иных частиц другие подходящие множества из трех величин выражаются в терминах q и p. Согласно принципам квантовой механики, состояние системы в данный момент времени полностью описывается характеристикой значений любого полного множества параметров состояния. Очевидно, что такое описание будет рассматриваться как неполное с классической точки зрения, потому что, если множество содержит q_x, то p_x ни задано, ни определяется другими значениями в множестве. Но такое ограничение описания состояния находится в согласии с принципом неопределенности: если q_x известно, то p_x в принципе непознаваемо. Легко видеть, что существует огромное число — в действительности бесчисленное множество — различных возможных выборов полного множества параметров состояния для данной системы. В процессе измерения мы можем свободно выбирать какое-нибудь *одно* из полных множеств параметров. И после измерения точного значения величин выбранного множества, мы можем заявить, что описание состояния, характеризуемое этими значениями, представляет именно то, которое мы знаем.

В квантовой механике любое состояние системы может быть представлено функцией специального вида —

так называемой «волновой функцией». Функции такого рода соответствуют численные значения во всех точках пространства. (Оно, однако, в общем случае не является знакомым нам трехмерным пространством, а абстрактным пространством многих измерений.) Если значения полного множества параметров состояния для времени t_1 заданы, то волновая функция системы для t_2 будет определена однозначно. Такие волновые функции, хотя каждая из них основывается на множестве величин, которые кажутся неполными с точки зрения классической физики, играют в квантовой механике роль, аналогичную функциям состояния в классической механике. При условиях изоляции, как и прежде, можно определить волновую функцию для t_2 на основе данной волновой функции для t_1. Это делается с помощью уравнения, известного как «дифференциальное уравнение Шредингера», впервые сформулированного известным австрийским физиком Эдвином Шредингером. Это уравнение имеет математическую форму детерминистического закона. Оно дает полную волновую функцию для t_2. Таким образом, если мы примем волновую функцию как полное представление мгновенного состояния, мы будем вынуждены сказать, что по крайней мере на теоретическом уровне детерминизм сохраняется и в квантовой физике.

Такое утверждение, хотя и делается некоторыми физиками, кажется мне недоразумением, потому что оно может заставить читателя проглядеть такой факт. Когда мы спросим, как волновая функция, вычисленная для будущего момента времени t_2, расскажет нам о значениях параметров состояния t_2, ответ будет таков: если мы планируем в момент времени t_2 измерить данный параметр состояния частицы, например координату y частицы номер 5, то волновая функция не предскажет значения, которое даст наше измерение. Эта функция дает только вероятностное распределение для всех возможных значений этой величины. В целом волновая функция будет приписывать положительные вероятности различным возможным значениям (или различным подынтервалам возможных значений). Только в некоторых особых случаях эти значения теоретически достигают вероятности 1 (достоверность), позволяя нам сказать, что это значение точно предсказано. Заметим, что волновая функция, вычисленная для t_2, дает вероятностное распределение для значений *каждого* параметра состояния рассматриваемой физической системы. В нашем прежнем примере это означает, что она дает вероятностное распределение для всех величин, отмеченных в пунктах а) и б). Квантовая теория фундаментально индетерминистична в том смысле, что она не обеспечивает точных предсказаний для будущих результатов измерений. Она делает только вероятностные предсказания.

Поскольку волновая функция, вычисленная для момента времени t_2, дает относительно отдельных частиц вероятностное распределение параметров прежнего состояния, постольку можно вывести вероятностное распределение для других величин, которые определяются в терминах предшествующих. Среди этих величин имеются статистические величины, относящиеся к множеству всех частиц физической системы, или подмножеству этих частиц. Многие из этих статистических величин соответствуют макронаблюдаемым свойством, например температуре небольшого, но видимого тела, или положению, или скорости центра тяжести тела. Если тело состоит из миллиардов частиц (например, искусственный спутник, вращающийся вокруг Земли), то его положение, скорость, температура и другие измеряемые величины можно будет вычислить с огромной точностью. В случаях такого рода кривая плотности вероятности для статистической величины имеет форму очень узкой, крутой возвышенности. Мы можем охарактеризовать, таким образом, небольшой интервал, который практически охватывает всю возвышенность. Как следствие этого, вероятность того, что значение данного параметра лежит в этом интервале, экстремально сходится к 1. При таком схождении для всех практических целей мы можем не рассматривать вероятностный характер предсказания и считать его достоверным. Но с точки зрения квантовой теории спутник представляет систему, образованную из миллиардов частиц, и для каждой отдельной частицы существует неизбежная ошибка в предсказании. Неопределенность, выражаемая с помощью квантовых законов, имеет место и для спутника, но она сводится почти к нулю благодаря статистическим законам, охватывающим очень большое число частиц.

С другой стороны, имеются ситуации совершенно другого характера, в которых появление события непосредственно наблюдаемо в сильном смысле этого слова, но тем не менее зависит от поведения крайне малого числа частиц, а иногда даже отдельной частицы. В случаях такого рода значительная неопределенность поведения частицы имеет место и в отношении к макрособытию. Это часто встречается в тех ситуациях, где радиоактивное микрособытие вызывает макрособытие, например, когда электроны, испускаемые при бета-распаде, производят отчетливо слышный щелчок в счетчике Гейгера. Даже если мы сделаем идеальное предположение, что нам известны значения полного множества параметров первоначального состояния для субатомных частиц в небольшой совокупности радиоактивных атомов тела B в момент времени t_1, мы можем вычислить только вероятности появления таких событий, как, например: не испускается ни одна частица, испускается одна частица, две частицы и т. д. в течение первой секунды после t_1. Если процесс таков, что вероятность того, что в первую секунду не испускается ни одна частица, близка к 1, мы не можем предсказать даже с грубым приближением время, когда произойдет испускание первой частицы, которая вызовет щелчок в счетчике Гейгера. Мы можем только определить вероятности и связанные с ними величины, например величину математического ожидания времени первого щелчка.

С точки зрения этой ситуации я говорю, что детерминизм прошлого века был отброшен современной физикой. Я верю, что большинство физиков сегодня предпочтет такой способ характеристики того радикального изменения классической ньютоновой картины, которое осуществила квантовая механика.

Когда некоторые философы, такие, как Эрнст Нагель, и некоторые физики, такие, как Генри Маргенау, говорят, что детерминизм все еще существует в законах о состояниях систем, но для этого следует только изменить определение «состояния системы», я не буду возражать против этого. То, что они говорят, действительно имеет место. Но, по моему мнению, здесь слово «только» может вызвать недоразумение. Создается впечатление, что изменение является просто другим ответом на вопрос: какие параметры характеризуют состояние системы? В действительности изменение значительно более фундаментально. Представители классической физики были убеждены в том, что с прогрессом исследований законы станут все более и более точными, и не существует никакой границы точности, с которой могут быть получены предсказания наблюдаемых событий. В противовес этому квантовая теория устанавливает здесь непреодолимый предел. Я считаю, что будет меньше риска впасть в недоразумения, если мы скажем, что причинная структура — структура законов — в современной физике фундаментально отличается от той, что была, начиная от Ньютона и кончая девятнадцатым столетием. Детерминизм в классическом смысле отклонен.

Легко понять, почему эту, радикально новую картину физических законов сначала было психологически трудно принять физикам[1]. Сам Планк благодаря консервативному характеру мышления был опечален, когда впервые осознал, что испускание и поглощение излучения представляет не непрерывный процесс, а, скорее, процесс, происходящий с помощью неделимых порций. Эта дискретность была целиком направлена против всего духа традиционной физики, поэтому для многих физиков, включая Планка, было крайне трудно привыкнуть к новому типу мышления.

Революционный характер принципа неопределенности Гейзенберга привел некоторых философов и физиков к мысли о необходимости существенных изменений в языке физики. Сами физики редко говорят о языке, которым они пользуются. Такие разговоры можно услышать только от тех немногих физиков, которые интересуются логическими основаниями физики, или от логиков, которые исследуют физику. Такие люди

---

[1] По этому вопросу я рекомендую небольшую книжку Вернера Гейзенберга под названием «Физика и философия: Революция в современой науке» («Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science», New York: Harper, 1958). Она содержит ясную оценку исторического развития квантовой теории — сначала нерешительные шаги, сделанные Планком, затем вклад Эйнштейна, Гейзенберга и других. Ф. С. К. Нортроп правильно замечает во введении, что Гейзенберг гораздо более умеренно показывает свою собственную роль в этой истории.

спрашивают себя: «Следует ли видоизменить язык физики, чтобы приспособить его к соотношению неопределенностей? Если да, то как?»

Большинство крайних предложений такого видоизменения касается изменения формы логики, которая используется в физике. Филипп Франк и Мориц Шлик (Шлик тогда был философом в Вене, Франк — физиком в Праге) впервые совместно выразили взгляд, что при некоторых условиях конъюнкция двух осмысленных утверждений в физике должна рассматриваться как лишенная смысла фраза. Примером могут служить два предсказания о значениях сопряженных величин для той же самой системы, в то же самое время. Пусть утверждение *A* предсказывает точно координаты частицы для некоторого момента времени. Пусть утверждение *B* выражает три компоненты импульса той же самой частицы, для того же самого момента времени. Из принципа неопределенности Гейзенберга мы знаем, что здесь имеется только два выбора.

1. Мы можем сделать эксперимент, с помощью которого узнаем (конечно, при наличии хороших инструментов) положение частицы, хотя и не с абсолютной, но большой точностью. В этом случае мы должны считать наше определение импульса частицы очень неточным.

2. Мы можем вместо этого сделать другой эксперимент, посредством которого мы измерим с большой точностью компоненты импульса частицы. В этом случае мы должны довольствоваться большой неточностью в определении положения частицы.

Короче, мы можем проверить либо *A*, либо *B*. Мы не можем проверить конъюнкцию «*A* и *B*». Мартин Страус, ученик Франка, написал докторскую диссертацию по этой и связанной с нею проблемам. Позже он работал с Нильсом Бором в Копенгагене. Страус утверждал, что конъюнкция *A* и *B* должна рассматриваться как лишенная смысла, потому что здесь она не подтверждается. Мы можем, если захотим, верифицировать *A* с желаемой степенью точности. То же самое можно сделать с *B*. Но мы не можем сделать это для «*A* и *B*». Эта конъюнкция не должна, таким образом, рассматриваться как осмысленное утверждение. По этим причинам Страус утверждал, что правила образования (правила, характеризующие допустимые формы предложений) языка физики должны быть видоизменены. По моему мнению, такое радикальное изменение нежелательно.

Другое, сходное предложение было выдвинуто математиками Гарретом Биркгофом и Джоном фон Нейманом[1]. Они предложили изменить не правила образования, а правила преобразования (правила, с помощью которых могут быть выведены одни предложения из других). Они предложили, чтобы физики отклонили дистрибутивные законы в логике высказываний.

Третье предположение было сделано Гансом Рейхенбахом, который предложил заменить традиционную двухзначную логику трехзначной логикой[2]. В такой логике каждое утверждение будет иметь одно из трех возможных значений: *T* (истина), *F* (ложь) и *I* (неопределенность). Классический закон исключенного третьего (утверждение должно быть либо истинным, либо ложным, никакой третьей возможности не существует) в трехзначной логике заменяется законом исключенного четвертого. Каждое утверждение должно быть либо истинным, либо ложным, либо неопределенным. Никакой четвертой возможности не существует. Например, утверждение *B* о импульсе частицы может оказаться истинным, если сделать подходящий эксперимент. В таком случае другое утверждение *A* о положении частицы будет неопределенным. Оно неопределенно потому, что невозможно в принципе определить его истинность или ложность в тот же самый момент времени, когда подтверждается утверждение *B*. Конечно, вместо этого можно рассматривать подтверждение *A*. Тогда неопределенным будет *B*. Иными словами, в современной физике существуют ситуации, в которых если некоторые утверждения являются истинными, другие должны быть неопределенными.

Чтобы согласовать эти три истинностных значения, Рейхенбах счел необходимым иначе определить обыч-

---

[1] См.: Garret Birkhoff and John von Neumann, The Logic of Quantum Mechanics, «Annals of Mathematics», 37 (1936), p. 823—843.

[2] См.: Hans Reichenbach, Philosophic Foundations of Quantum Mechanics (Berkeley, University of California Press, 1944).

ные логические связи (импликацию, дизъюнкцию, конъюнкцию и т. п.) с помощью таблиц истинности, гораздо более сложных, чем те, которые используются для определения логических связок в знакомой нам двухзначной логике. Кроме того, он предложил ввести новые связки. Снова я чувствую, что если было бы необходимо усложнить таким образом логику ради усовершенствования физического языка, то это оказалось бы приемлемым. В настоящее время я, однако, не могу видеть необходимости для такого радикального шага.

Мы должны, конечно, подождать, чтобы посмотреть, как пойдут дела при будущем развитии физики. К несчастью, физики редко предлагают свои теории в форме, которую хотелось бы видеть логику. Они не говорят: «Это — мой язык, вот — исходные термины, здесь мои правила образования, вот — логические аксиомы». (Если бы они давали по крайней мере свои логические аксиомы, то мы могли бы тогда увидеть, находятся ли эти аксиомы в согласии с аксиомами Неймана или Рейхенбаха, или же они предпочитают классическую двухзначную логику.) Было бы также хорошо иметь постулаты всей области физики, установленные в систематической форме, которые включали бы формальную логику. Если бы это было сделано, было бы легче определить, существуют ли хорошие основания для изменения лежащей в основе теории логики.

Здесь мы затрагиваем еще не разрешенную, глубокую проблему языка физики. Этот язык, за исключением его математической части, остается все еще в основном естественным языком, то есть его правила неявно узнаются на практике и редко формулируются явным образом. Конечно, в языке физики были приняты тысячи новых терминов и фраз, в некоторых случаях были созданы специальные правила, чтобы действовать с некоторыми из этих специальных терминов и символов. Подобно языкам других наук, язык физики непрерывно увеличивает свою точность и эффективность. Эта тенденция будет, конечно, продолжаться. Однако в настоящее время развитие квантовой механики еще полностью не отражено в уточненном языке физики.

Трудно предсказать, как будет изменяться язык физики. Но я убежден, что две тенденции, которые привели к значительному усовершенствованию языка математики в течение последней половины столетия, докажут свою эффективность в уточнении языка физики и в придании ему большей ясности (применение современной логики и теории множеств и принятие аксиоматического метода в его современной форме, предполагающей формализованные системы языка). В современной физике, в которой не только содержание теорий, но также вся понятийная структура дискуссионны, оба эти метода могут оказаться очень полезными.

Здесь есть захватывающая цель, которая требует тесной кооперации физиков и логиков, а еще лучше — работы более молодых людей, которые изучали как физику, так и логику. Я верю, что применение современной логики и аксиоматического метода в физике даст значительно больше, чем только содействие улучшению коммуникабильности между физиками и между физиками и другими учеными. Оно будет способствовать осуществлению более глубоких задач: тогда легче будет создавать новые понятия и формулировать новые предположения. Огромное число новых экспериментальных результатов, собранных в последние годы, во многом обязано значительному усовершенствованию экспериментальных инструментов, таких, как большие атомные ускорители. На основе этих результатов был достигнут огромный прогресс в разработке квантовой механики. К несчастью, усилия по перестройке теории, направленные на то, чтобы все новые данные подходили к ней, не были успешными. Возникли некоторые неожиданные головоломки, ставящие в тупик затруднения. Их разрешение представляет неотложную, но наиболее трудную задачу. Кажется справедливым предположить, что использование новых понятийных средств может оказать здесь существенную помощь.

Некоторые физики считают, что имеются хорошие шансы для нового прорыва в ближайшем будущем. Будет ли это раньше или позже, мы можем верить — при условии, что ведущие государственные деятели мира не допустят полного безумия ядерной войны и позволят человечеству выжить, — что наука будет продолжать свое быстрое прогрессивное развитие и приведет нас к еще более глубокому проникновению в структуру мира.

БИБЛИОГРАФИЯ

Книги общего характера

Richard B. Braithwaite, Scientific Explanation, Cambridge, Cambridge University Press, 1953.

Percy W. Bridgman, The Logic of Modern Physics, New York, Macmillan, 1927.

Norman R. Campbell, Physics: The Elements, Cambridge, Cambridge University Press, 1920.

Norman R. Campbell, What Is Science? London, Methuen, 1921.

Philipp Frank, Philosophy of Science, Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1957.

Werner Heisenberg, Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science, New York, Harper, 1958.

Carl G. Hempel, Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science, Glencoe, Ill., Free Press, 1965.

Carl G. Hempel, International Encyclopedia of Unified Science, Vol. 2, № 7; «Fundamentals of Concept Formation in Physical Science», Chicago, University of Chicago, Press, 1952.

Gerald Holton and Duane Roller, Foundations of Modern Physical Science, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1958.

John Kemeny, A Philosopher Looks at Science, Princeton, N. J., D. Van Nostrand, 1959.

Ernest Nagel, The Structure of Science, New York, Harcourt, Brace & World, 1961.

Karl Popper, The Logic of Scientific Discovery, New York, Basic Books, 1959.

Bertrand Russell, Human Knowledge: Its Scope and Limits, New York, Simon & Schuster, 1948.

Israel Scheffler, The Anatomy of Inquiry, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1963.

Stephen Toulmin, The Philosophy of Science, London, Hutchinson's Universal Library, 1953.

Сборники статей

Arthur Danto and Sidney Morgenbesser, eds., Philosophy of Science, Cleveland, Ohio, Meridian, 1960.

Herbert Feigl and May Brodbeck, eds., Readings in the Philosophy of Science, New York, Appleton-Century-Crofts, 1953.

Herbert Feigl and Wilfrid Sellars, eds., Readings in Philosophical Analysis, New York, Appleton-Century-Crofts, 1949.

Herbert Feigl, Michael Scriven and Grover Maxwell, eds., Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Minneapolis', Minn., University of Minnesota Press, Vol. I, 1956; Vol. II, 1958, Vol. III, 1962.

Edward H. Madden, ed., The Structure of Scientific Thought, Boston, Mass., Houghton Mifflin, 1960.

Paul Arthur Schilpp, ed., The Philosophy of Rudolf Carnap, La Salle, Ill., Open Court, 1963.

Paul Arthur Schilpp, ed., Albert Einstein: Philosopher-Scientist, Evanston, Ill., Library of Living Philosophers, 1949.

Philip Wiener, ed., Readings in the Philosophy of Science, New York, Scribner, 1953.

Измерение

Norman R. Campbell, Physics: The Elements, op. cit., Part II: «Measurement».

Carl G. Hempel, Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science, op. cit., Ch. 3.

Victor F. Lenzen, International Encyclopedia of Unified Science, Vol. I, № 5: «Procedures of Empirical Science». Chicago, Ill.; University of Chicago Press, 1938.

Пространство и время

Albert Einstein, Sidelights on Relativity, New York, Dutton, 1923.

Philipp Frank, Philosophy of Science, op. cit., Ch. 3 and 6.

Adolf Grünbaum, Philosophical Problems of Space and Time, New York, Knopf, 1963. (Рус. пер.: Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени. М.: УРСС, 2003.)

Max Jammer, Concepts of Space, Cambridge, Mass.; Harvard University Press, 1954.

Ernest Nagel, The Structure of Science, op. cit., Ch. 8 and 9.

Henri Poincaré, Science and Hypothesis, London, 1905.

Hans Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, New York, Dover, 1958. (Рус. пер.: Рейхенбах Г. Философия пространства и времени. М.: УРСС, 2002.)

Значение причинности

Bertrand Russell, Mysticism and Logic, Ch. 9, New York, Longmans, Green 1918. Перепечатано в: Feigl and Brodbeck, Readings in the Philosophy of Science, op. cit.

Bertrand Russell, Our Knowledge of the External World, Ch. 8, London, Allen & Unwin, 1914. Перепечатано в: Feigl & Brodbeck, Readings in the Philosophy of Science, op. cit.

Moritz Schlick, Causality in Everyday Life and in Recent Science. Перепечатано в: Feigl and Sellars, Readings in Philosophical Analysis, op. cit.

Детерминизм и свобода воли

Bertrand Russell, Our Knowledge of the External World, op. cit., Ch. 8.

Moritz Schlick, Problems of Ethics, Ch. 7, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1939.

Charles Stevenson, Ethics and Language, New Haven, Yale University Press, 1944, Ch. 11.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Величины
аддитивные 119—125
наблюдаемые 301—310
ненаблюдаемые 301—310
производные 148—158
сопряженные 370
теоретические 301—310
экстенсивные 118—126
Венский кружок 51
Вероятность
индуктивная 64, 71—85
классическая 64, 65
логическая 71—85
понятие 67, 68, 71, 78, 79
принцип индифференции 73, 74
статистическая 59—71
Вес 100—104
Время 127—136
дискретность 140, 141
Высказывание условное, противоречащее факту 279, 280

Геометрия
гиперболическая 190, 202
Евклида 181—187
Лобачевского 189, 190, 192—202
математическая 246
неевклидова 189—202
преимущества 223—241
Римана 189, 190, 201, 202
физическая 181
эллиптическая 202

Дедукция 59, 60
Дескриптивизм 338
Детерминизм 289—297, 375, 376
Дискретность времени и пространства 140, 141
Длина 120—122, 137—147, 154—157

Единицы измерения 112, 113

Законы
Бойля 92—94
Вебера — Фехнера 153
детерминистические 287—297
и необходимость 263—278
количественные 158, 159
микрозаконы 304
номическая форма 281, 282
номические 281
ограниченные 283, 284, 286
Ома 303
основные 282—284, 286
познавательное содержание 265
проверка 62, 63
статистические 363—369
теоретические 42, 43, 301—310
универсальные 39—42, 283
Шарля 93, 94
эмпирические 42, 43, 301—310

Измерение
времени 127—136
границы 138, 139
длины 137—147
иррациональные числа 110
правило аддитивности 119—122
правило единицы измерения 112, 113
правило эквивалентности 102—105, 110
счет 109, 110
температуры 111—116
Индетерминизм 370
Индукция 59—62
Инструменталисты 337
Истина
и подтверждение 285
Истинностные значения 47, 48, 278

Кванторы
существования 330, 332
универсальные 40
Кондиционализм 263
Конструкты 340
Кривизна 197, 198

Линии
геодезические 191, 227, 228
Логика
индуктивная 60, 77, 78
отношений 102
связки (логические) 379
символическая 34, 40, 184

Макрособытия, макропонятия 304

Масса 157
Метод
Фреге — Рассела 316
экспериментальный 85—94
Микрособытия, микропонятия 304
Модальности
каузальные 278—281
логические 278
Мир
возможный 49, 50
действительный 48, 49

Нуль-класс 108
Объяснение 43—47
Определение соотносительности 314
Отношение, термины 332
асимметричное 102, 103
симметричное 102
транзитивное 102
эквивалентности 102, 105

Периодичность 129—136
Плотность 148
Понятия науки
качественные 106
классификационные 97—99
количественные 106—118
сравнительные 99—106
теоретические 349—359
Постулат Евклида 182
Правила
аддитивности 119—122
единицы измерения 112—115
преобразования 378
соответствия 310—318
эквивалентности 102—105, 110
Предложение Рамсея 327—339
Предсказание 56—59
Принцип
индифференции 73, 74
неопределенности 370—378
Причинность 253—263
и детерминизм 289—297, 375, 376
и каузальные модальности 278—281
и кондиционализм 263
и необходимость 263—278
и предсказуемость 260
и равенство причины следствию 275
и статические процессы 257
историческое происхождение 255, 256, 273—275
логический анализ закона причинности 257—262
обстоятельства и условия 257—259
Псевдосфера 197
Пространство
геодезические линии 191, 227, 228
дискретность 140, 141
измерения 373
кривизна 197

Распределение
Максвелла — Больцмана 367
частотное 69—71
Рассуждение
априорное 241—250
апостериорное 241—245

Свет 164—166
Свобода воли 290—297
Скорость 124
Степень подтверждения 78

Температура 111—116, 150, 151
Теорема Пифагора 139, 140
Теории эквивалентные 210, 211
Теория
гравитации 326, 327
единого поля 323
кинетическая газов 319, 320
молекулярная 310, 311
относительности 211—223
электромагнетизма 321

Ускорение 148
Утверждения
аналитические 339—359
синтетические 241—244, 258

Факт 41, 42, 307
Физика
квантовая 370—380
классическая (XIX в.) 367—368
Функция
волновая 373
распределения 367

Электричество 312
Энтелехия 52—56

Язык
качественный 107
количественный 148—158
магический взгляд 170—177
наблюдения 339—348
теоретический 348—359

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аббот, Эдвин 204

Бавинк, Бернард 266
Бейес, Томас 64
Бернулли, Яков 64, 81
Беркс, Артур 278
Биркгоф, Гаррет 378
Больяй, Янош 189—190
Бойль, Роберт 93—94
Бонола, Роберто 190
Бор, Нильс 237, 377
Брейтвейт, Ричард Б. 328, 333
Бриджмен, Перси 155—156, 311, 314—315

Галилей, Галилео 158, 162, 325—326
Гаусс, Карл Фридрих 188, 192—194
Гейзенберг, Вернер 166, 323, 370—371, 376
Гельмгольц, Герман 166, 204—205, 235
Гемпель, Карл 35, 99—100, 104, 121, 350, 353
Гераклит 276
Герц, Генрих 322
Гёте, Иоганн Вольфганг 163—166
Гильберт, Давид 248, 315

Демокрит 276, 325
Джеммер, Макс 190
Джеффрис, Гарольд 75, 78
Динглер, Гуго 107, 208
Дриш, Ганс 52—56
Дьюи, Джон 285, 337

Журдэн, П. 194

Кант, Иммануил 135, 182—184, 241—250
Карнап, Рудольф 75, 82, 84, 286, 335
Кейнс, Джон Мейнард 71—73, 75, 78
Кембелл, Норман 311
Кельвин 93
Кельсен, Ганс 273—274
Кирхгоф, Густав 50

Куайн, Уилард ван Орман 342—343, 348

Лаплас, Пьер Симон 64, 80, 289—290
Лауэ, Макс 239
Лейбниц, Готфрид Вильгельм 208
Лобачевский, Николай Иванович 189
Льюис, Кларенс Ирвинг 278

Максвелл, Джеймс Клерк 282—283, 321—323
Маргенау, Генри 295, 375
Мархенке, Пауль 291
Мах, Эрнст 50, 270
Мизес, Рихард 65—70, 81
Милль, Джон Стюарт 60
Минковский, Герман 227

Нагель, Эрнст 176—177, 279, 311, 339, 375
Нейман, Джон 378
Нортроп, Ф. С. К. 376
Ньютон, Исаак 163—165, 326—327

Огден, С. К. 170
Оппенгейм, Пауль 99

Пеано, Джузеппе 316
Пирс, Чарльз С. 337
Планк, Макс 370, 376
Пуанкаре, Анри 107, 202—211, 221—223

Рамсей, Фрэнк Пламптон 327—339
Расселл, Бертран 246—247, 270
Рейхенбах, Ганс 65—66, 69—71, 78—79, 146, 220, 232—234, 279, 285, 290, 378
Риман, Георг Фридрих 189
Рицлер, Курт 171—177
Ричардс, И. А. 170

Стевенс, С.-С. 153
Страус, Мартин 377—378

Таунсенд, Е. 248
Тиндаль, Джон 166

Уайт, Мортон 348

Фарадей, Майкл 321
Фейгль, Герберт 35, 82
Ферма, Пьер 64, 74
Фишер, Рональд А. 69
Франк, Филипп 276, 377
Фрейндлих, Финдлей 220

Чисхольм, Родерик 279

Шарль, Жак 93—94
Шелдон, Уильям 100
Шварцшильд, Карл 214
Шимони, Абнер 35
Шлик, Мориц 245, 270
Шопенгауэр, Артур 166—167
Шредингер, Эдвин 373

Эйнштейн, Альберт 117, 135, 202—210, 212, 220, 234, 249

Юм, Давид 256, 269—270

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие переводчика III

Предисловие автора 34

Часть I. Законы, объяснения и вероятность 37

Глава 1. Значение законов: объяснение и предсказание 39
Глава 2. Индукция и статистическая вероятность . . . 59
Глава 3. Индукция и логическая вероятность 71
Глава 4. Экспериментальный метод 85

Часть II. Измерение и количественный язык 95

Глава 5. Три вида понятий в науке 97
Глава 6. Измерение количественных понятий 109
Глава 7. Экстенсивные величины 118
Глава 8. Время 127
Глава 9. Длина 137
Глава 10. Производные величины и количественный язык 148
Глава 11. Преимущества количественного метода . . . 158
Глава 12. Магический взгляд на язык 170

Часть III. Структура пространства 179

Глава 13. Постулат Евклида о параллельных 181
Глава 14. Неевклидовы геометрии 189
Глава 15. Пуанкаре против Эйнштейна 202
Глава 16. Пространство в теории относительности . . . 211
Глава 17. Преимущества неевклидовой физической геометрии 223
Глава 18. Кантовские синтетические априорные суждения 241

Часть IV. Причинность и детерминизм 251

Глава 19. Причинность 253
Глава 20. Включает ли причинность необходимость? . . 263
Глава 21. Логика каузальных модальностей 278
Глава 22. Детерминизм и свобода воли 288

Часть V. Теоретические законы и теоретические понятия 299
Глава 23. Теория и ненаблюдаемые (величины) 301
Глава 24. Правила соответствия 310
Глава 25. Как новые эмпирические законы выводятся из теоретических законов 319
Глава 26. Предложения Рамсея 327
Глава 27. Аналитические предложения в языке наблюдения 339
Глава 28. Аналитические утверждения в теоретическом языке 349
Часть VI. За пределами детерминизма 361
Глава 29. Статистические законы 363
Глава 30. Индетерминизм в квантовой механике . . . 370

Библиография 381

Предметный указатель 383

Именной указатель 385

Об авторе Рудольф КАРНАП (1891–1970)

Известный американский философ и логик немецкого происхождения, видный представитель логического позитивизма. Родился в Вуппертале. Получил образование в Йенском и Фрайбургском университетах. В 1921 г. в Йене защитил докторскую диссертацию. Преподавал вначале в Венском университете (1926–1931), а затем в Германском университете в Праге (1931–1935). Был одним из наиболее активных членов группы философов и математиков, известной как Венский кружок. В 1936 г. эмигрировал в США. Был профессором Чикагского университета (1936–1952) и Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (1954–1970). В 1952–1954 гг. работал в Принстонском университете.

Уже в первой работе — «Логическое построение мира» (1928) — Карнап сформулировал идею о возможной основе единства знания: по его мнению, науки о природе и науки о культуре способны объединиться в том случае, если окажутся в состоянии перевести содержательный язык о «переживаниях», «вещах» и т. п. на формальный лексикон, описывающий структуры и отношения. Широкую известность получили работы Карнапа, посвященные логике и семантике: «Логический синтаксис языка» (1934), «Основания логики и математики» (1939), «Исследования по семантике» (1942–1943), «Значение и необходимость» (1947; рус. пер. 1959; 2-е изд.: URSS, 2007). Книга «Философские основания физики» вышла в 1966 г. и стала классическим трудом в области философии науки.

5775 ID 72209

9 785382 005720

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Тел./факс: 7 (499) 135–42–16
Тел./факс: 7 (499) 135–42–46

URSS

E-mail: URSS@URSS.ru
Каталог изданий в Интернете: http://URSS.ru