

ИЗ НАСЛЕДИЯ МИРОВОЙ ФИЛОСОФСКОЙ МЫСЛИ



ФИЛОСОФИЯ
НАУКИ

Ф. Франк

ФИЛОСОФИЯ НАУКИ

СВЯЗЬ
МЕЖДУ НАУКОЙ
И ФИЛОСОФИЕЙ



ИЗ НАСЛЕДИЯ МИРОВОЙ ФИЛОСОФСКОЙ МЫСЛИ

ФИЛОСОФИЯ
НАУКИ

Philipp Frank

PHILOSOPHY OF SCIENCE

THE LINK BETWEEN SCIENCE AND PHILOSOPHY

Ф. Франк

ФИЛОСОФИЯ НАУКИ

**СВЯЗЬ МЕЖДУ НАУКОЙ
И ФИЛОСОФИЕЙ**

Перевод с английского
Н. В. Воробьева

Общая редакция
доктора философских наук,
профессора *Г. А. Курсанова*

Издание второе



URSS

МОСКВА

ББК 22.1ф 22.3ф 72.3 87.1

Франк Филипп

Философия науки. Связь между наукой и философией: Пер. с англ. / Общ. ред. Г. А. Курсанова. Изд. 2-е. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. — 512 с. (Из наследия мировой философской мысли: философия науки.)

В предлагаемой вниманию читателя книге ее автор, известный американский философ и физик Филипп Франк (1884–1966), подводит итог своих взглядов на философию научного познания. Автор рассматривает философию науки как «потерянное связующее звено» между наукой и философией и стремится не только дать философские интерпретации научных дисциплин, но и установить связи последних с историческими направлениями философии, такими как идеализм и материализм. В книге весьма полно изложены позитивистские концепции по вопросам философии естествознания и со всей ясностью выступают основные черты позитивистской философии со всеми ее особенностями и противоречиями.

Рекомендуется философам, историкам и методологам науки, аспирантам и студентам философских факультетов вузов, всем, кто интересуется проблемами научного познания.

Специальный редактор глав 3, 5–9, 11:

д-р физ.-мат. наук, проф. *М. Ф. Широков*

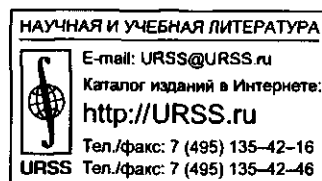
Издательство ЛКИ. 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 32. Зак. № 1048.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 11А, стр. 11.

ISBN 978–5–382–00206–4

© Н. В. Воробьев, 1960, 2007

© Издательство ЛКИ, 2007



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

ПРЕДИСЛОВИЕ *

Недостаточное учение — опасная вещь;
Пей вдоволь или совсем не касайся
 Пнерианского источника ¹.
Выпьешь немного — лишь опьянишь свой мозг,
Выпьешь много — снова отрезвишь его.

Эти знаменитые стихи Александра Попа, вероятно, не столько характеризуют область познания вообще, сколько философию науки. Пространственные интервалы и временные промежутки чрезвычайно сократились благодаря успехам науки XIX и XX веков, а сила рук человеческих возросла в таких масштабах, которые даже трудно представить; но множество критиков современной цивилизации указало бы на то, что, несмотря на эти успехи, человечество не стало счастливее и стоит сегодня перед опасностями, источником которых являются эти самые успехи науки. Ответственность за эту неблагоприятную обстановку одни авторы приписывают тому, что в наше время социальные науки развиваются гораздо медленнее, чем науки физические, другие же любят указывать на недостаток внимания, оказываемого нравственному и философскому познанию по сравнению с познанием материального мира. Если бы нужно было

* Уважаемые читатели! По техническим причинам в настоящем издании пагинация книги приводится со страницы 37.

¹ В древнегреческой мифологии — источник, дающий поэтическое вдохновение. — *Прим. перев.*

выразиться более абстрактным способом, с помощью понятий, то мы сказали бы, что в неспособности науки сделать свои успехи благодеянием для людей повинен разрыв между наукой и философией. Довольно большое число отцов церкви, руководители просвещения и даже политики советовали приостановить с помощью административных мер развитие естественных наук для того, чтобы ускорить развитие наук гуманитарных. Такое поощрение моральных ценностей административными мерами и финансовыми средствами едва ли вообще осуществимо и не может быть предметом искреннего желания правительств и ответственных социальных групп. Теперь общеизвестно, что многие представительные группы беспокоятся о том, что наша страна отстает в подготовке научных работников от других стран, являющихся нашими политическими и экономическими соперниками. Эти группы требуют больших ассигнований на подготовку научных работников в области естественных наук. Как можно примирить эти противоположные цели? Главная задача этой книги состоит в том, чтобы показать, что повышение интереса к моральному и философскому аспектам мира не следует связывать с необходимостью снижения исследований в области науки и ее преподавания.

Здесь подчеркивается, что чем глубже мы погружаемся в настоящую науку, тем яснее становятся ее связи с философией. Как видно из заглавия, эта книга рассматривает философию науки как «потерянное связующее звено», которое мы должны отыскать. Одни попытки в этой области очень часто начинались с такого понятия науки, которое было наполовину вульгарным и наполовину мистическим. Другие попытки сводились к связыванию наук с такой философией, которая на самом деле оказывалась только системой логических символов, оторванной от исторических систем философии. Но ведь именно эти системы философии служили теоретической основой для разных способов построения жизни, а также опорой для религиозных и политических верований.

В этой книге мы пытаемся начать с того понимания науки, какое бывает у ученого в наиболее творческом и критическом состоянии его ума. Однако мы также попытаемся установить связи с историческими направлениями философии, вроде идеализма и материализма, которые действительно служили опорой для моральных, религиозных и политических верований.

Я работал над этой книгой около пяти лет и обсуждал ее разделы в различных аудиториях: со студентами последнего курса Гарвардского колледжа и Массачусетского технологического института, со студентами Гарвардской высшей школы физики, а также со студентами образовательных классов для взрослых Новой школы социальных исследований в Нью-Йорке.

В уточнении и подготовке к печати ценную помощь мне оказал Ральф Берхоу (ответственный секретарь Американской академии искусств и наук). В перепечатке на машинке и редактировании мне помогли Алиса Атамян, Джен Брокхирст, Гарриэта Фрелл и Рита Ферналд. Чертежи были сделаны Генри Ферналдом. При издании рукописи большую помощь оказал издательский отдел «Прентис холл инкорпорейшн».

Филипп Дж. Франк

Кембридж, декабрь 1956 года.

ВВЕДЕНИЕ

КАКАЯ ПОЛЬЗА В ФИЛОСОФИИ НАУКИ?

1. Разрыв между наукой и философией

Когда мы обращаемся к наиболее творческим умам науки XX века, мы находим, что самые великие из них усиленно подчеркивали, что тесная связь между наукой и философией неизбежна. Луи де Бройль, создавший волновую теорию материи (волны де Бройля), пишет:

«В XIX веке произошло разобщение ученых и философов. Ученые смотрели с некоторой подозрительностью на философские спекуляции, которым, казалось, слишком часто не хватает точных формулировок и которые тщетно бьются над неразрешимыми проблемами. Философы в свою очередь больше не интересовались специальными науками, потому что их результаты казались им имеющими слишком ограниченный характер. Это разобщение, однако, принесло вред как философам, так и ученым»¹.

Очень часто мы слышим от преподавателей той или иной науки, что студенты, посвятившие себя серьезному исследованию в области науки, не интересуются не относящимися к их занятиям философскими проблемами. Тем не менее один из самых

¹ Louis De Broglie, L'Avenir de la Science.

творчески одаренных людей в физике XX века, Альберт Эйнштейн, пишет:

«Я с уверенностью могу сказать, что самые способные студенты, которых я встречал как преподаватель, глубоко интересовались теорией познания. Под «самыми способными» я имею в виду тех, которые выделялись не только способностями, но и независимостью суждений. Они любили спорить об аксиомах и методах науки и своим упорством в защите своих мнений доказывали, что эти вопросы были важны для них»¹.

Этот интерес к философскому аспекту науки, обнаруженный творческими и одаренными богатым воображением умами, понятен, если мы вспомним, что коренные изменения в науке всегда сопровождались более интенсивным углублением в ее философские основания. Изменения вроде перехода от системы Птолемея к системе Коперника, от евклидовой к неевклидовой геометрии, от ньютоновской механики к механике теории относительности и к четырехмерному искривленному пространству привели к радикальному изменению в объяснении мира с точки зрения обыденного здравого смысла. На основании всех этих соображений следует, что всякий, кто хочет добиться удовлетворительного понимания науки XX века, должен хорошо освоиться с философской мыслью. Но он скоро убедится, что это относится и к всестороннему пониманию науки, существовавшей в любой период истории.

2. Утерянная связь между естественными и гуманитарными науками

Очень многие авторы, занимающие самое различное общественное положение, высказывали беспокойство по поводу великой угрозы для нашей цивилизации — угрозы глубокого разрыва между нашими

¹ Albert Einstein, *Physikalische Zeitschrift*, Vol. 17, p. 101 и далее.

быстрыми успехами в науке и нашим непониманием человеческих проблем, или, другими словами, разрыва между естественными и гуманитарными науками, который в более ранние периоды был до некоторой степени преодолен либеральным образованием.

Упадок либерального образования был в остро драматической форме выражен Робертом Хатчинсом в его замечаниях о месте «философии» в наших университетах. Во все периоды до XIX века философия и теология были главными предметами в каждом высшем учебном заведении. Все специальные области познания координировались идеями, даваемыми в курсах философии. В XIX и XX веках «философия» стала отдельной дисциплиной среди других дисциплин, таких, как минералогия, славянские языки или экономика. Если бы можно было спросить ученых, то большинство из них ответило бы, что они рассматривают «философию» как одну из наименее важных дисциплин. В традиционном образовании утрачено звено той цепи, которая должна связывать науку с философией. Если допустить, что человек происходит из животного мира, то для подтверждения этой теории мы должны найти «утраченное звено» между обезьяной и человеком, между природой и сознанием. Хатчинс пишет:

«Целью высшего образования является мудрость. Мудрость же есть знание принципов и причин. Следовательно, метафизика есть наивысшая мудрость... Если мы не можем обращаться к теологии, то мы должны обратиться к метафизике. Без теологии или метафизики мир не может существовать»¹.

Он прямо утверждает, что метафизика, существующая независимо от науки и имеющая вечную ценность, является необходимой основой университетского образования, прививающего навыки самостоятельного мышления. Вместо возведения философии

¹ «Higher Learning in America», New Haven, Yale University Press, 1936.

в ранг специальной дисциплины Хатчинс предлагает следующее:

«В идеальном университете студент должен идти не от новейших наблюдений назад к первым принципам, но от первых принципов к тому, что мы считаем значительным в новейших наблюдениях для понимания этих принципов... Естественные науки выводят свои принципы из философии природы, которая в свою очередь зависит от метафизики... Метафизика же, то есть изучение первых принципов, охватывает все в целом... И общественные и естественные науки зависят от нее и подчиняются ей»¹.

Эта программа, очевидно, основывается на вере в то, что существуют философские принципы, независимые от успехов наук, и из которых могут быть выведены все положения как естественных, так и общественных наук.

Трудной задачей такой программы является, конечно, проблема нахождения этих имеющих непреходящее значение принципов. Само собой разумеется, что непреложность этих философских принципов может сохраняться и гарантироваться только или духовными, или светскими властями, или и теми и другими вместе. Никакое университетское образование не может быть основано на метафизике.

3. Наука как равновесие ума

Хотя выбор непреложной метафизики и кажется невыполнимым, все же основное положение Хатчинса (необходимость в университетском образовании, основанном на принципах метафизики) находится в согласии с требованиями такого обладающего широким умом философа и ученого, как Уайтхед. Он пишет:

«Дух обобщения должен господствовать в университете. Лекции должны читаться тем, кому уже зна-

¹ «Higher Learning in America», New Haven, Yale University Press, 1936.

комы детали и метод. Это значит, знакомы по крайней мере в том смысле, что они так согласуются с предшествующим обучением, что легко усваиваются. Во время школьного периода учащийся мысленно как бы склонялся над партой; в университете же он должен распрямиться и посмотреть вокруг... Задачей университета является помочь учащемуся ценою отказа от деталей приобрести знание принципов»¹.

Однако то, что Уайтхед называет «принципами», не является положениями «непреходящей метафизики», которую Хатчинс предлагает в качестве основы для всякого университета. Уайтхед говорит: «Идеалом университета является не столько знание, сколько мощь ума. Его задача — превращение знания подростка в зрелый ум мужчины». От нашего знания фактов мы переходим к знанию общих принципов с помощью метода, который мы узнаем из науки. В своем первом обращении к слушателям в качестве профессора философии и истории науки в Лондонском университете Герберт Дингл в 1947 году говорил о «недостающем факторе в науке»:

«Моей задачей является исследовать, как случилось, что поколение, столь удивительно искусное в практических приложениях науки, может быть столь удивительно беспомощным в понимании ее, а моим тезисом, который я хочу выдвинуть, является то, что состояние не сознающего себя автоматизма, в котором в наши дни находится наука, возникло из-за отсутствия на протяжении всей истории критической школы внутри самого научного движения, выполняющей ту функцию, или по крайней мере одну из функций, которую выполняла для литературы с самых ранних ее времен критика».

Наука должна иметь дело, с одной стороны, с упрямыми фактами, а с другой — с общими идеями. То, чему наука учит нас, есть взаимосоответствие между теми и другими. Главное, что университетские преподаватели должны дать учащимся, — это привить

¹ A. N. Whitehead, Aims of Education.

им интерес к координированию упрямых фактов с помощью абстрактных принципов. Это самая увлекательная задача университетского образования. Уайтхед говорит об этом: «Это равновесие ума стало теперь частью традиции, заражающей культивированную мысль. Это есть то, что услаждает жизнь. Главной задачей университетов является передача этой традиции как широко распространенного наследия от поколения к поколению»¹.

Мы нуждаемся в полном понимании принципов физики или биологии, понимании не только логического доказательства, но также и психологических и социологических законов; короче говоря, мы нуждаемся в дополнении науки о физической природе наукой о человеке. Занимаясь эмпирической наукой, мы будем стремиться к той же цели, которой люди вроде Хатчинса хотели достичь с помощью неизменных метафизических догм. Для того чтобы понять не только самую науку, но также и место науки в нашей цивилизации, ее отношение к этике, политике и религии, нам нужна стройная система понятий и законов, в которой и естественные науки, и философия, и гуманитарные науки занимали бы определенное место.

Такая система во всех случаях может быть названа «философией науки», она стала бы «недостающим звеном» между естественными и гуманитарными науками без введения какой-либо непреходящей философии.

Нужда в этом «недостающем звене» остро ощущалась за последние годы студентами нашего колледжа. Гарвардский студенческий совет учредил комитет по учебному плану, составивший в 1942 году доклад, в котором цитировалось письмо в Дартмутский колледж от одного юноши из Невады:

«Мы верим, что свободное образование дает картину взаимосвязанного целого природы, включающую человека как наблюдателя.

¹ A. N. Whitehead, Science in the Modern World.

Мы требуем, чтобы свободное образование давало основанную на фактах действительную философию познания... Хороший преподаватель может показать связь между своим курсом и другими курсами».

4. Является ли ученый «ученым невеждой»?

Около столетия назад существующий в нашем современном мире разрыв между естественными и гуманитарными науками приписывался Ральфом Уолдо Эмерсоном недостатку привлекательности в занятиях наукой. Он писал:

«Это равнодушие к человеку получает возмездие. Какого человека создает наука? Юношу она не привлекает. Он говорит: я не хочу быть человеком, подобным моему профессору»¹.

Едва ли можно думать, что преподаватели философии, истории или английского языка имеют на интеллектуальное и эмоциональное развитие среднего студента колледжа большее влияние, чем преподаватели математики или химии.

Некоторые из наших авторов подчеркивали, что большая опасность для нашей западной культуры может проистекать из нашей системы образования, которая готовит очень узких специалистов, пользующихся в глазах общественного мнения особым уважением. Может быть, ни один автор не охарактеризовал это положение более удачно и ярко, чем испанский философ Ортега-и-Гассет. В своей книге «The Revolt of the masses» он пишет об ученом нашего века, что «сама наука — основа нашей цивилизации — автоматически превращает его в человека, не выделяющегося из общей массы людей, делает из него первобытного человека, современного дикаря». С другой стороны, ученый выступает самым настоящим представителем культуры XX века, он является «высшей точкой европейской человечности». Тем не

¹ Ralph Waldo Emerson, *Essays on Representative Man*, 1849, «Nature», 1836, *The conduct of Life*, 1860.

менее, согласно Гассету, ученый, который получил обычное образование, оказывается сегодня «невежественным в отношении всего, что не входит в круг его специальности и его познаний. Мы должны сказать, что он является *ученым невеждой*, что представляет серьезную опасность, так как предполагается, что он является невеждой не в обычном понимании, а невеждой со всей амбицией образованного человека».

Наш автор сетует, что организация научного исследования позволяет людям, в интеллектуальном отношении самым заурядным, достигать значительных научных результатов и без всяких на то оснований преисполняться самодовольством.

«Многое из того, над чем приходится работать в физике или биологии, является механической работой такого рода, что может выполняться любым или почти любым человеком. Для целей бесчисленных исследований можно разделить науку на небольшие разделы, включиться в один из них и забыть про все остальное... Для того чтобы получать большие научные результаты, не обязательно даже иметь строгие понятия об их значении и обосновании».

Отрывок, процитированный из труда Ортега-и-Гассета, конечно, не относится к характеристике методов научной работы таких людей, как Ньютон или Дарвин или как Эйнштейн и Бор, но он очень хорошо характеризует то, как «научный метод» описывается в учебниках и освещается в школах, где делается попытка «очистить науку философии» и где установлен определенный рутинный тип преподавания. В действительности же большие успехи в науках заключались в разрушении разделяющих философию и науку перегородок, а невнимание к значению и обоснованию наук преобладает только в периоды застоя.

Для того чтобы ученые, которые в нашем современном мире играют огромную общественную роль, не превращались в класс ученых невежд, их образование не должно строиться только на узкопрофессиональном подходе к явлениям, а должно уделять подобающее внимание философским вопросам и месту науки во всей области человеческой мысли.

5. Технический и философский интерес в науке

Волнующие впечатления от успеха в науке не всегда возникали под влиянием технических новшеств, которые вводились для того, чтобы сделать человеческую жизнь более приятной или неприятной, вроде телевидения или атомной энергии. Система Коперника, согласно которой наша Земля движется в пространстве, вызвала к жизни такое описание мира, которое не могло быть выражено в понятиях обыденного здравого смысла, созданных человеком для описания состояния покоя и движения, встречающихся в повседневном опыте. Механика Ньютона ввела понятия «сила» и «масса», значения которых не согласовывались со значениями этих слов, принятыми в языке обыденного здравого смысла. Эти новые теории возбудили волнение в умонастроении, коснувшееся только маленькой группы ученых и философов; интерес к ним превзошел интерес ко многим чисто техническим достижениям.

В истории мысли такое явление повторялось много раз. Тот, кто получил свое образование в первой четверти нашего века, был свидетелем волнения, вызванного опубликованием теории относительности Эйнштейна, которая не могла быть сформулирована в тех понятиях обыденного здравого смысла, которые веками служили для описания нашего опыта, касающегося пространственных и временных интервалов. Точно так же теория, трактующая поведение атомных и субатомных частиц (квантовая теория), не могла быть сформулирована с помощью обычных понятий скорости и положения, причины и следствия свободы и детерминированности. Мы видели, что во все времена влияние научных достижений на интерпретацию природы с точки зрения обыденного здравого смысла было большим и стимулировало интерес к науке не в меньшей степени, чем влияние, которое оказывал технический прогресс.

Тот интерес к науке, который создается не ее техническим применением, а ее влиянием на картину мира, созданную нашим обыденным здравым смыслом,

мы кратко можем назвать «философским» интересом. В практике преподавания науки в наших высших школах по большей части игнорировался этот философский интерес и даже считалось долгом преподавать науку в форме, при которой совершенно оставались в стороне ее сложные философские проблемы. В результате такого обучения положение преподавателей науки в обществе их сограждан стало до некоторой степени не соответствовать тому положению, которое они должны занимать. На страницах журналов, посвященных проблемам культуры, и с кафедр церковей всех вероисповеданий заявлялось, что наука XX века сделала большой вклад в дело разрешения самых насущных человеческих проблем: примирения между наукой и религией, опровержения материализма, восстановления веры в свободу воли и нравственную ответственность. С другой стороны, однако, заявлялось, что современная наука укрепляет материализм или релятивизм и способствует разрушению веры в абсолютную истину и нравственные ценности. Для доказательства этих положений привлекались современные физические теории, вроде теории относительности и квантовой теории.

Если спросить только что окончившего высшее учебное заведение физика (не говоря уже о только что получившем диплом инженере), каково его мнение по тому или иному философскому вопросу науки, то можно немедленно убедиться, что его физическое образование не дало ему никаких знаний, которые давали бы возможность высказываться по этому вопросу. Начинаящий молодой научный работник окажется, по сути дела, более беспомощным в этих вопросах, чем просто интеллигентный читатель популярных научных журналов. Огромное количество обладателей научных степеней в области физики и инженерного дела окажется в состоянии дать только самый поверхностный ответ, да и этот ответ будет не результатом их специального образования, а мнением, возникшим благодаря чтению некоторых популярных статей в газетах или каких-либо других периодических изданиях. Более того, многие из них не рискнут

дать даже и поверхностный ответ, а просто скажут: «Это не моя область, и это все, что я могу об этом сказать». Если интеллектуальная любознательность не удовлетворяется преподавателем науки, то жаждущий студент принимает свою духовную пищу там, где она ему предлагается. В лучшем случае он черпает эту духовную пищу из какого-либо, пусть даже и хорошего, популярного журнала, но может быть и хуже, и он станет жертвой людей, которые истолковывают науку в интересах какой-либо идеологии, которая служит корыстным целям и во многих случаях оказывается антинаучной. Они заявляют, что физические теории нашего века «отказались от рационального мышления» в пользу... я точно не знаю, в пользу чего, так как не могу себе представить, какая существует альтернатива рационального мышления в науке.

Это может показаться парадоксальным, но уклонение от изучения философских вопросов очень часто делало выпускников высшей школы пленниками устаревших философских взглядов. Этот результат «изоляционистской» позиции в преподавании науки часто осуждался теми учеными, которые глубоко занимались философией. Каждый подросток приобретает во время своего обучения какую-то понятную для обыденного здравого смысла картину мира, короче говоря, какую-то «философию». Он учится употреблять слова, вроде «покой и движение», «время и пространство», «материя и сознание», «причина и следствие» и т. д. ... Этот словарь тесно связан со словарем, в котором находят выражение многочисленные «да» и «нет», управляющие поведением ребенка. Эта философия, приобретенная в детстве и юности, слишком часто остается мнением обыденного здравого смысла и взрослого ученого во всех областях, где он не «специалист». С другой стороны, в пределах самой науки эта философия обыденного здравого смысла часто вытеснялась более критической философией посредством устранения языка обыденного здравого смысла. Самым бросающимся в глаза примером являются изменения в понятийной схеме в языке о

«покое и движении», начавшиеся с Коперника и продолжающиеся в наше время благодаря трудам таких ученых, как Эйнштейн и Бор.

6. Устаревшая философия в сочинениях ученых

Таким образом, у изучающих науку произошло некое «раздвоение личности», некий род шизофрении, благодаря противоположности между их научной мыслью и философией детских лет. Вероятно, никто не сформулировал это так ясно, как Уайтхед, равно выдающийся как в науке, так и в философии. Он начинает с замечания, что в течение периода, когда наука подвергается небольшим изменениям, некоторые основные принципы не подвергаются сомнению в течение долгого периода времени и могут быть приняты без особой критики. Он пишет: «Допустимо (в качестве практического совета, которым следует руководствоваться в течение нашей непродолжительной жизни) воздерживаться от критики научных формулировок, пока в науке происходит изучение новых фактов. Но пренебрегать философией, когда происходит преобразование идей, значит признавать законность случайных философских предрассудков, усвоенных от нянюшки или школьного учителя или сложившихся под влиянием распространенных способов выражения»¹.

Уайтхед говорит о «случайной философии», потому что от случайности нашего рождения зависит, какую философию мы усваиваем во время нашего детства. Он точно указывает те факторы, которые определяют эту «философию»: наше дошкольное образование, школа, включая воскресную школу, и даже словарный запас и синтаксис того языка, на котором мы получаем образование. Поведение ученых, которые, не сомневаясь, придерживаются случайной философии, усвоенной в детстве, имеет, согласно Уайтхеду, аналогию в области религии: оно подобно пове-

¹ A. N. Whitehead, The Principle of Relativity.

дению тех, «которые благодарят провидение за то, что они избавлены от тяжелых религиозных сомнений благодаря тому счастливому обстоятельству, что они родились в истинной вере».

Такая философия часто сохраняется у ученых со времени их детства вопреки изменениям в научном мышлении, и нередко случается, что написанные ими научные труды содержат в себе остатки устаревших философских учений. Это положение с большой силой было подчеркнуто Эрнстом Махом, который, как и Уайтхед, был одинаково проникательным как в науке, так и в философии, хотя и защищал совершенно другие взгляды. Оба, однако, утверждали, что без критической философии сама наука превратится в орудие устаревших философских учений. Мах писал:

«Область трансцендентного мне недоступна... я к тому же откровенно сознаюсь, что ее обитатели ни малейшим образом не возбуждают моей любознательности... Я *вовсе не философ*, а только *естествоиспытатель*... Но я не желаю также, разумеется, быть таким естествоиспытателем, который слепо доверяется руководству одного какого-нибудь философа, как это требовал, например, от своего пациента врач в комедии Мольера... Я поставил себе целью не ввести *новую философию* в естествознание, а удалить из него *старую, отслужившую службу*... Среди многих философских систем... можно насчитать немало таких, которые самими философами признаны ложными. В естествознании, где они встречали менее внимательную критику, эти философские системы дольше сохранили свою живучесть: так, какая-нибудь разновидность животных, неспособная защищаться от своих врагов, может сохраниться на каком-нибудь заброшенном острове, не открытая своими врагами...»¹

Эти остатки устаревших философских учений в науке осуждались людьми, чьи убеждения и цели резко отличались от убеждений и целей Маха и Уайтхеда. Мы можем процитировать одну из работ Фридриха Энгельса, самого близкого соратника

¹ Э. Мах, *Познание и заблуждение*, М., 1909, стр. 3—4.

Карла Маркса в его научной, философской и политической деятельности. Он писал: «Естествоиспытатели воображают, что они освобождаются от философии, когда игнорируют или бранят ее. Но так как они без мышления не могут двинуться ни на шаг, для мышления же необходимы логические категории, а эти категории они некритически заимствуют либо из обыденного общего сознания так называемых образованных людей, над которыми господствуют остатки давно умерших философских систем, либо из крох прослушанных в обязательном порядке университетских курсов по философии (которые представляют собой не только отрывочные взгляды, но и мешанину из воззрений людей, принадлежащих к самым различным и по большей части к самым скверным школам), либо из некритического и несистематического чтения всякого рода философских произведений, — то в итоге они все-таки оказываются в подчинении у философии, но, к сожалению, по большей части самой скверной, и те, кто больше всех ругает философию, являются рабами как раз наихудших вульгаризированных остатков наихудших философских систем»¹.

¹ Ф. Энгельс, *Диалектика природы*, Госполитиздат, 1955, стр. 165.

Глава 1

ЦЕПЬ, СВЯЗЫВАЮЩАЯ НАУКУ С ФИЛОСОФИЕЙ

1. Факты и концепты

В своем стихотворении «Сонет к науке» Эдгар Аллан По предъявляет науке такое обвинение:

Наука! Ты дочь Древних Времен,
Изменяющая все вещи своим пронизательным взором.
Зачем ты так мучишь сердце поэта,
Хищник, чьи крылья — банальные реальности?
Разве ты не вытащила Диану из ее колесницы?
И разве ты не выгнала Дриаду из ее леса?

Современный ученый едва ли согласится, что его наука состоит из «банальных реальностей». Чем больше мы изучаем науку, тем больше убеждаемся, что наука и не «банальна» и не говорит о «реальностях». «Колесница Дианы» гораздо ближе к «банальным реальностям» нашей повседневной жизни, чем те символы, посредством которых современная наука описывает орбиты небесных тел. В «богинях» и «нимфах» больше сходства с людьми, которых мы встречаем в нашей повседневной жизни, чем сходства в таких явлениях, как электромагнитное поле, энергия или энтропия, населяющих «невидимую вселенную»,

с явлениями повседневной жизни; эта «невидимая вселенная», согласно современной науке, ответственна за «банальные реальности» нашего непосредственного чувственного наблюдения.

Когда мы говорим о науке, мы всегда говорим о двух уровнях рассуждения или абстракции. Первый из этих уровней есть уровень повседневного опыта обыденного здравого смысла, например когда мы наблюдаем какое-либо темное пятно, находящееся в движении по отношению к другим темным пятнам. Это уровень непосредственного наблюдения; с этими простыми фактами опыта имеют дело лабораторные записи. Можно было бы проанализировать эти простые данные опыта с психологической точки зрения, но мы не будем здесь этого делать; примем как нечто само собой разумеющееся, что мы имеем эти данные опыта. При этом мы не подразумеваем, что эти простые данные опыта не могут трактоваться более глубоко, а просто имеем в виду, что эта трактовка не относится к философии науки. Второй уровень, о котором говорилось, есть уровень общих принципов науки. Он совершенно отличен от уровня опыта обыденного здравого смысла. Последний может принадлежать всем; второй же уровень пользуется языком, очень далеким от повседневного опыта. Наука в своем существе и состоит из этих общих принципов. Собрание простых утверждений о меняющихся пятнах не есть еще наука. Центральной проблемой философии науки является вопрос о том, как мы переходим от утверждений обыденного здравого смысла к общим научным принципам. Как мы уже сказали, эти данные опыта обыденного здравого смысла и соответствующие утверждения понимаются и признаются всеми. Эта основа признания хорошо характеризуется в стихах великого американского поэта У. Уитмена:

Логика и проповеди никогда не убеждают,
Сырой мрак ночи глубже проникает в мою душу,
Только то, что очевидно для каждого мужчины и каждой
Женщины, является таковым на самом деле.
Только то, чего никто не отрицает, таково на самом деле.

Утверждениями этого типа являются: «В этой комнате стоит круглый стол. Теперь этот стол перенесен из этой комнаты в соседнюю». Или: «На этой шкале стрелка совпадает с отметкой между двумя и тремя; сейчас положение стрелки меняется, и она остановилась на отметке между тремя и четырьмя». Относительно утверждений этого типа, конечно, не может быть двух мнений. Мы не претендуем на то, что такие утверждения описывают «более высокую реальность», чем другие утверждения, так же как не претендуем и на то, что описываемый мир есть «реальный» мир. Мы делаем такие утверждения основой всей науки только потому, что можно достичь общего согласия людей средней образованности относительно того, являются ли такие утверждения в каждом отдельном случае «истинными» или нет. Можно относиться к рассуждению, состоящему из таких утверждений, как к рассуждению обыденного здравого смысла, или повседневному рассуждению. Для У. Уитмена это «так», потому что это «очевидно для каждого мужчины и каждой женщины».

Но ситуация резко изменится, если мы обратимся к общим положениям, сформулированным в абстрактных терминах, вроде «закона инерции» или «сохранения энергии». Назовем ли мы их принципами, или предпосылками, или гипотезами, или обобщениями, — одно достоверно: в отношении их мы не можем достигнуть общего понимания того рода, которого мы можем достичь в отношении утверждений обыденного здравого смысла. Поэтому, естественно, встает вопрос: почему мы принимаем одни общие научные положения и не принимаем других? Каковы причины нашего познания этих общих положений? Это отчасти психологическая и социологическая проблема. Общие положения физической науки — не просто эмпирические факты. Фактом является, что люди прогрессируют и знают эти общие принципы; этот факт, однако, относится не к физике, а, скажем, к психологии или антропологии. Таким образом, мы видим, что философия физической науки не исчерпывается самой физикой. В физике мы узнаем некоторые

из причин, например почему признаются эти общие принципы, но никоим образом не узнаем все причины. Философия науки есть часть науки о человеке, и мы по-настоящему не поймем ее, если не узнаем кое-чего о других науках о человеке, таких, как психология, социология и т. д. Все основания для признания общих принципов относятся к области философии науки. Каково действительное отношение между опытом обыденного здравого смысла и этими общими принципами? Достаточно ли только этого опыта обыденного здравого смысла? Детерминируются ли эти общие положения науки однозначно или один и тот же комплекс опытных данных может породить различные общие положения? Если имеет место последнее, то на каком основании мы отдаем предпочтение именно данным общим положениям, а не другим? Как мы переходим от одного, то есть опыта обыденного здравого смысла, к другому, то есть к общим положениям науки? Это центральная проблема философии науки.

Мы можем только предварительно и очень поверхностно описать здесь, каково отношение между наукой и философией. Если мы говорим в обычном смысле о цепи, которая связывает опыт обыденного здравого смысла с общими положениями науки, то в конце этой цепи, где положения становятся все более и более общими, мы можем поместить философию. Мы скажем, что чем дальше движение идет в сторону обобщений, тем менее однозначно они детерминируются непосредственными наблюдениями и тем менее достоверными они становятся. Пока мы не будем углубляться в различие между наукой и философией. Мы разберем это позднее.

2. Схемы описания

Путем собирания и фиксации большого количества данных опыта обыденного здравого смысла в какой-либо области мы можем создать длинные списки показаний стрелок или описаний меняющихся цвет-

ных пятен. Но с помощью простой фиксации, как бы она ни была точна и полна, мы не получим ни малейшего намека на то, как сформулировать теорию или гипотезу, из которой мы могли бы практически извлечь результаты нашей записи. Если мы просто ставим задачу нахождения гипотезы, которая хорошо согласовалась бы с нашими записями, то для нас оказывается невозможным получить определенный результат. Еще в 1891 году Пирс писал:

«Если испытывать гипотезы наудачу или на основании того факта, что они соответствуют некоторым явлениям, то проверка каждой теории займет у всех физиков-теоретиков мира в среднем примерно полстолетия, а поскольку число возможных теорий может доходить до триллиона, причем только одна из них обладает свойством истинности, постольку у нас мало вероятности сделать дальнейшие надежные добавления к предмету нашего теперешнего исследования»¹.

Если мы попытаемся выдвинуть теорию или гипотезу на основе зафиксированных наблюдений, то скоро заметим, что без той или иной теории мы даже не знаем, что должны наблюдать. Случайные наблюдения обычно не входят в обобщение. Здесь, может быть, бесполезно привести отрывок из работы Огюста Конта «Курс позитивной философии». Конт рассматривается как родоначальник философской школы, известной как «позитивизм». Согласно мнению, часто поддерживаемому философами, он и его школа превозносили значение наблюдений и сводили к минимуму или даже отвергали создание теорий с помощью творческого воображения. Тем не менее он пишет:

«Если, с одной стороны, всякая позитивная теория должна необходимо основываться на наблюдениях, то, с другой стороны, также имеет смысл и то, что для осуществления наблюдений наш ум нуждается в какой-то теории. Если, созерцая явления, мы не подводим их под какие-либо принципы, то мы

¹ Ch. S. Peirce, в «The Monist», 1891.

лишаемся возможности сгруппировать эти изолированные наблюдения и вывести из них какие-либо заключения. Более того, мы были бы неспособны фиксировать их в нашем уме. Обычно такие факты оставались бы незамеченными для наших глаз.

Таким образом, человеческий ум со времени своего возникновения зажат между необходимостью образовывать реальные теории и такой же настоятельной необходимостью создавать какие-либо теории для того, чтобы осуществлять чувственное наблюдение. Наш ум оказался бы в порочном кругу, если бы, по счастью, не существовало естественного выхода из этого круга с помощью самопроизвольного развития теологических понятий»¹.

Теологические понятия очень близки опыту обыденного здравого смысла. Они истолковывают создание мира богами по аналогии с изготовлением часов часовым мастером. Далее мы увидим, что этот вид аналогии был основой всех метафизических истолкований науки. Здесь мы должны отчетливо осознать, что простая фиксация наблюдений не дает нам ничего, кроме «меняющихся пятен», и что «наука» не возникает, если мы не переходим от этих данных опыта обыденного здравого смысла к простым схемам описания, которые мы называем теориями. Отношение между непосредственными наблюдениями и теми понятиями, которые мы употребляем в «научном описании», является главной темой, с которой имеет дело всякая философия науки.

Возьмем сравнительно простой пример, где это отношение довольно непосредственное. Представим себе, что мы бросаем какое-либо тело в воздух — скажем, кусочек папиросной бумаги. Что с ним происходит? Если мы сделаем это много раз — сто, тысячу, сотни тысяч раз, — мы обнаружим только, что всякий раз его движения будут различными. Накопление всех этих наблюдений, очевидно, не является еще наукой. И это не тот путь, которым идет физик, если только это не такая область знания, где добыто

¹ Auguste Comte, Cours de Philosophie Positive.

еще очень мало результатов и о которой он почти ничего не знает. Если мы изучаем физику, то мы изучаем какие-то правила — равномерного движения, ускоренного движения, сочетания равномерного и ускоренного движения. Это схемы описаний. Мы должны создать их, прежде чем их проверять, но каким образом можно создать эти схемы? Нельзя обойтись без определенной доли воображения. Мы пытаемся представить себе какую-либо простую схему. Но что такое простое? Мы должны попытаться увидеть, не найдется ли среди таких различных представляемых схем одна такая, которая приближенно описывала бы действительное движение нашего падающего кусочка бумаги. В учебниках физики говорится, что эти схемы являются «идеальным движением». Это неправильное выражение: оно связано с метафизическим учением, которое считает, что для каждого эмпирического объекта имеется соответствующая ему идея. Результат этой «идеализации» оказывается совершенно произвольным. Посредством слова «идеализация» вы не говорите ничего другого, кроме того, что вы сравниваете какой-либо эмпирический объект с некоей «идеей», которую вы создали. Встает вопрос о цели этого вашего создания, или «идеализации»: например, для некоторых проблем удобнее представлять обычную атмосферу как очень плотную среду, а для других — как пустое пространство.

Теперь вернемся к вопросу о падающем куске папиросной бумаги. В современной механике мы сравниваем каждое движение со схемой, являющейся движением материальной точки в пустом пространстве. Мы рассматриваем два типа движения в качестве составляющих движения брошенного тела: равномерно ускоренное движение вниз и равномерное горизонтальное движение. Первое из них мы называем движением под действием сил тяготения, а второе — движением под действием сил инерции. Эта схема дает много полезного для описания движения, но не все. Этот анализ оказывается приблизительно правильным для разреженного газа, каким

является воздух, но уже не таковым для среды высокой вязкости. Нам нужно изобрести другую схему, если мы хотим вычислить действие плотной или вязкой среды.

Схемой, посредством которой мы описываем движение в разреженном воздухе, является движение с постоянным «ускорением». Понятие ускорения очень далеко от «меняющихся пятен» наших непосредственных наблюдений. Если положение движущегося тела математически описывается произвольной функцией по времени, то ускорение описывается с помощью вычисления «вторых производных этой функции по времени», в смысле дифференциального исчисления. Наблюдать эквивалент «второй производной» в области опыта обыденного здравого смысла значило бы привести очень большое число чрезвычайно тонких показаний стрелки (или какого-либо другого указателя); мы не должны забывать, что «вторая производная» определяется как предел некоторой бесконечной последовательности значений.

Таким образом, мы можем сказать, что ученый-экспериментатор совсем не наблюдает количества, которые встречаются в схемах научного описания, в законах науки. Сусанна Лангер в своей книге «*Philosophy in a New Key*» пишет:

«О людях в лаборатории... совсем нельзя сказать, что они наблюдают интересующие их действительные объекты. Чувственные данные, на которых основываются высказывания современной науки, представляют собой по большей части крошечные фотографические крапинки и пятнышки или проведенные чернилами на бумаге кривые линии... То, что непосредственно наблюдается, есть только знак «физического факта»; для того чтобы этот знак породил научные высказывания, его нужно истолковать»¹.

3. Понимание посредством аналогии

Пока мы рассмотрим только движение в очень разреженном воздухе. Удовлетворяется ли челове-

¹ Suzanne K. Langer, *Philosophy in a New Key*.

ческий ум познанием этой схемы постоянного ускорения? Нет, он спрашивает, *почему* ускоряется движущееся тело по направлению вниз и движется равномерно в горизонтальном направлении? Если вы захотите объяснить это школьнику (а мы в некотором смысле все являемся школьниками в этом мире), то вы скажете, что оно ускоряет свое движение вниз под влиянием земного тяготения. Но если вы немного подумаете, то придете к выводу, что это объяснение вовсе таковым не является. Что такое тяготение? В средние века объяснения всегда были антропоморфическими и состояли в сравнении объясняемого с человеческими действиями. Считалось, что тяжелые объекты стремятся как можно ближе к центру Земли. Чем более они приближаются к центру, тем «радостнее» они становятся и тем быстрее движутся. Хотя у нас теперь и гораздо больше скептицизма, мы все же пользуемся понятием «тяготение». Если мы фиксируем положения падающего кусочка папиросной бумаги, то мы действуем в плане повседневного опыта. Но мы стараемся «понять» общий закон его движения путем сравнения его непосредственно с тяготением, которое является психологическим феноменом нашей повседневной жизни. Мы не удовлетворяемся введением повседневного опыта только путем прямых наблюдений за падающим телом.

Труднее объяснить равномерное движение тела. Мы говорим, что причиной его является инерция; мы все понимаем, что это значит, потому что из повседневного опыта знаем, что являемся инертными. Инерция означает вялость, отсутствие желания двигаться. Например, для того, чтобы встать утром, мы должны испытать некое внешнее побуждение — необходимость идти в класс на занятия или предвкушение хорошего завтрака. Закон инерции кажется нам очень правдоподобным на основе этого сравнения. Мы удивляемся только, почему для его открытия человеку понадобилось так много тысяч лет. Однако этот метод объяснения, основанного на опыте нашей собственной инертности, является

совершенно произвольным. Вещи не так просты, как кажутся.

Если мы лежим на полке в вагоне поезда, то можем на основании только нашей инертности определить, останемся ли мы, не прибегая ни к каким усилиям, лежать на полке или будем с нее сброшены. Если поезд остановится или изменит свою скорость, то наша «инертность» не поможет нам остаться в состоянии покоя на полке. В действительности происходит то, что мы сохраняем нашу скорость в отношении какой-либо физической массы «без усилия». В примере с поездом такой массой является наша Земля. Но на примере с маятником Фуко или отклонения брошенного вверх тела благодаря вращению Земли мы можем увидеть, что Земля является только заместителем какой-то большей массы, в отношении которой мы сохраняем нашу скорость, например массы нашей галактики. При дальнейшем рассмотрении мы увидим, что даже и это не совсем правильно. В любом случае предсказание на основе аналогии с инертностью, которая встречается в повседневном опыте наблюдаемых эффектов движения, очень неопределенно, что бывает полезно только при совершенно особых обстоятельствах. В физической науке действительное значение имеет только абстрактная схема: всякая скорость остается постоянной в отношении некоторого конкретного тела, составляющего то, что мы называем инерциальной системой. Сравнение с явлениями повседневной жизни не обнаружит какого-либо несоответствия с этой схемой. Инертность, с которой мы имеем дело в повседневной жизни, может служить столь же неопределенной аналогией инерции, как взаимная симпатия друг к другу — неопределенной аналогией тяготению.

Если мы находим какую-либо простую схему для некоей группы явлений, например схему, согласно которой падающие в разреженном воздухе тела имеют постоянное ускорение, мы склонны рассуждать следующим образом: «Движение с абсолютно постоянным ускорением есть идеализация действи-

тельного падения тела в разреженном воздухе». Слово «идеализация» говорит, что мы опускаем случайные отклонения действительного движения и сохраняем только «существо движения», — равномерно ускоренное движение. Для ученого термин «существенный» значит «имеющий отношение к достижению поставленной цели». В отношении нашего примера он значит «имеющий отношение к наиболее простому и наиболее практическому описанию падения в разреженном воздухе».

Этим способом мы можем различать «существенные» и «случайные» компоненты определенного движения. У меня было, однако, побуждение поставить более общие вопросы, такие, как: что представляют собой вообще «существенные свойства» движения? Или что такое «сущность движения»? Если мы намереваемся употреблять термин «сущность» так же, как он употребляется в этом специальном случае, то под «существенными свойствами» вещи мы будем подразумевать те свойства, которые необходимы для достижения определенной цели. Без уточнения цели термин «существенный» не имеет определенного значения, если нет цели, которая сама собой разумеется и не нуждается в упоминании.

Если объект построен людьми, например дом, то ясно, что «существенными свойствами» дома являются те свойства, которые важны для строителя, то есть свойства, которые делают его хорошим или для того, чтобы в нем жить, или для того, чтобы с выгодой продать его. Мы можем, следовательно, говорить о сущности естественного объекта — камня, животного или человека — только в том случае, если допускаем, что их творец, создавая их, имел определенную цель.

Если мы говорим о «сущности» естественных объектов, то мы рассматриваем эти объекты по аналогии со сделанными человеком искусственными объектами. Эта аналогия или молчаливо подразумевается, или высказывается явно, когда говорят о создателе физического мира. Мы вернемся к этому способу выражения, когда будем обсуждать метафизические истолкования науки.

4. Аристотелевская схема естественной науки

Мы сказали (в § 1), что мы должны говорить о науке в двух планах (или на двух уровнях). Рассмотрение в одном из них мы назвали рассмотрением в плане повседневного опыта обыденного здравого смысла, то есть в плане непосредственного наблюдения. Рассмотрение в другом плане есть рассмотрение в плане общих принципов науки. Не будет преувеличением сказать, что большинство недоразумений в философской интерпретации науки возникло из-за того, что ясно не осознавалось различие между рассмотрениями в двух этих планах и способ их связи друг с другом. На протяжении всей истории философии рассмотрение в этих двух планах — непосредственного опыта и абстрактных предложений — играло огромную роль. Профессор Нортроп (F. S. C. Northrop) говорит об этом различии в своей известной книге «The Meeting of East and West». Он рассматривает различие между восточной философией (индийской, китайской) и западной (английской, французской, немецкой) и приходит к заключению, что «восточная часть мира сконцентрировала свое внимание на природе всех вещей в их эмоциональной и эстетической, чисто эмпирической и позитивистской непосредственности. Она стремилась в качестве суммарной целостности природы вещей брать ту целостность непосредственно воспринимаемого факта, которая в этой книге была названа дифференцированным эстетическим континуумом. В то время как традиционный Запад начал с этого континуума и все же возвращается к отдельным частям его для подтверждения своих синтаксически сформулированных в виде постулатов предписываемых теорий структур и объектов, в которых эти отдельные части сложного эстетического континуума являются просто коррелятами или знаками, Восток стремится концентрировать свое внимание на этом дифференцированном эстетическом континууме ради него самого»¹.

¹ F. S. C. Northrop, *The Meeting of East and West*, Ch. 10.

Можно сказать проще: дифференцированный статический континуум является центральным объектом восточной философии. Западная философия с этого начинает и выдвигает теории; если она хочет проверить теорию, она возвращается к этому. Главным объектом западной философии является не этот дифференцированный эстетический континуум, а абстрактные правила, вроде сохранения массы, энергии и т. д. Я не знаю, правильно ли это различие между восточной и западной философией. Что бы ни говорили верного о Востоке и Западе, одно несомненно — именно то, что существуют эти два подхода: непосредственный чувственный опыт и понятийные структуры.

Для того чтобы дать ясное и простое представление об этом «западном» подходе к науке и философии, мы должны начать с Аристотеля, произведения которого представляют собой самую древнюю попытку систематического подхода к науке и философии. В его книге «Физика» (в этом древнем произведении заключается как физика, так и философия физики) он описывает «естественный путь исследования». Он говорит:

«Естественный путь к этому [то есть к познанию природы] идет от более известного и явного для нас к более явному и известному по природе: ведь не одно и то же то, что известно для нас и прямо, само по себе. Поэтому необходимо дело вести именно таким образом: от менее явного по природе, а для нас более явного, к более явному и известному по природе»¹.

Для того чтобы иллюстрировать этот путь исследования, мы можем использовать уже приведенный выше пример: результаты наших наблюдений за падающим куском бумаги непосредственно познаются нами, потому что мы получаем их с помощью наших глаз, но по внутренней сущности они туманны, потому что не подчиняются какому-либо правдоподобному закону, тогда как законы инерции, причинности и т. п. являются доступными пониманию и

¹ Аристотель, Физика, 1937, стр. 7. Изд.3. М.: URSS, 2007.

правдоподобными, потому что отражают некоторую аналогию с нашими очень хорошо известными переживаниями в опыте. Аристотель хотел сказать, что одной из основополагающих характерных черт научного метода является переход от того, что познается непосредственно, к тому, что доступно пониманию.

5. От «смешанных агрегатов» к «интеллигибельным принципам»

В древней и средневековой науке философия и наука были звеньями единой цепи мысли и не отличались друг от друга. Один конец этой цепи касался основания — непосредственно познаваемых наблюдений. Цепь соединяла их с другим, более высоким концом — с интеллигибельными принципами. Аристотелевский способ выражения этого в наше время может справедливо подвергаться критике, но его формулировка остается даже и сейчас практически полезной для всех дискуссий об отношении между философией и наукой. Как сказал Аристотель, то, что просто и ясно сначала, представляет собой скорее смешанные агрегаты, элементы и принципы которых становятся понятными для нас позднее благодаря анализу. Таким смешанным агрегатом является и наше наблюдение падающего куска папиросной бумаги. Если же мы проанализируем этот смешанный агрегат, то получим принцип инерции, понятие материальной точки и т. д. Последние являются интеллигибельными понятиями. Это описание применимо определенным образом ко всякому научному исследованию. Даже самый упрямый инженер должен признать, что существует два типа положений: с одной стороны, положения, касающиеся непосредственных наблюдений и грубо эмпирических правил, которые инженер называет «правилами на глазок»; с другой — интеллигибельные принципы, вроде закона инерции. Никто не может отрицать существования этих двух положений. Одно из самых явных различий между этими двумя положениями следующее: инженер охотно изменит свои «правила на глазок» под влиянием новых наблюде-

ний, но его отнюдь не легко склонить к признанию того, что такой общий принцип, как закон инерции, ложен. Если дело дойдет до выбора, что является ложным — его наблюдения или закон инерции, то он обычно признает, что ложны его наблюдения, а не закон инерции.

Образное представление о связи между наукой и философией в виде цепи будет полезным для понимания различия между ними. Это различие существовало не всегда. В древние и средние века вся цепь от наблюдаемых фактов до интеллигибельных принципов называлась и наукой и философией. Если мы теперь посмотрим на традиционный способ преподавания науки и философии в университетах, то увидим, что они преподаются в отрыве друг от друга. Они мало взаимодействуют между собой. Ученые часто считают, что философы просто болтуны и что то, что они болтают, является к тому же чепухой. Философ же говорит, что ученый — это человек с очень узким умом, охватывающий только очень небольшую область познаваемого, в то время как мир в целом — предмет познания философа. Ученые часто в свое оправдание говорят, что наука стала настолько специализированной, что человек больше не может, как Аристотель, знать и этику, и политику, и физику, и поэтику, и риторику и т. д. Они утверждают, что в наше время никто не может достигнуть универсального знания и понимания. Каждый и так слишком много изучает, чтобы хорошо знать какой-либо очень специальный предмет. Существует поговорка: «Ученый знает много о немногом; философ же знает мало, но о многом». Разговоры о растущей специализации в науке не вполне соответствуют фактическому положению дел. Наука в наше время в известном смысле меньше специализирована, чем это было пятьдесят лет назад: теперь между различными отраслями наук гораздо больше связей. Возьмем, например, физику и химию: пятьдесят лет назад они рассматривались как весьма различные области знания. Студентов, занимающихся одной из этих областей знания, обычно обескураживало, когда им говорили, что они

«напрасно тратят время» в аудиториях, изучая другую область знания. Философы приводили даже «разумное» основание в доказательство того, почему физика и химия всегда будут отделены друг от друга. Физика-де имеет дело с количеством, а химия — с качеством. А затем развилась область физической химии и позднее — область химической физики. В наше время было бы не легко отграничить физику от химии, учитывая, что различие между ними существует только в том случае, если описываются самые элементарные опыты на самом низком уровне абстракции; чем выше уровень абстракции, тем меньше между ними различия. Было время, когда физики презирали химию, потому что она была грубо эмпирическим знанием, чем-то вроде знания «кухонного дела», а сейчас законы химии выводятся из различных областей физики, термодинамики, электродинамики и квантовой механики. Поэтому физик сейчас гораздо легче может изучить и понять химию и точно так же химик — изучить физику. Такое же положение и во взаимоотношении между физикой и биологией или между экономикой и антропологией. До последнего времени эти науки рассматривались как совершенно не связанные друг с другом. Раньше экономисты являлись специалистами, которые могут высчитывать тенденции курса ценных бумаг на бирже; антропологи изучали дикие племена. Теперь же мы должны понимать экономику как некий племенной обычай, а племенные обычаи понимать с экономической точки зрения.

Ввиду этого мы не можем сказать с достоверностью, что в наше время человек не может достичь понимания различных областей науки. Исчезновение прежнего единства науки и философии едва ли может быть приписано растущей специализации в науке.

6. Наука и философия как два конца одной цепи

Выше мы рассмотрели аристотелевское описание «естественного пути исследования», который «начинается с того, что более легко познаваемо и более

очевидно для нас, и идет к тому, что более самоочевидно и по внутренней сущности более доступно разумению...» Вся эта идея основывается на том, что существуют такие общие принципы, которые ясны и доступны нашему разуму, хотя далеки от непосредственного опыта. Если мы посмотрим на окружающий нас мир, то заметим различные физические явления: движение планет вокруг Солнца, движение частиц в электромагнитном поле и т. д. Не ясно, почему эти явления имеют место и почему они подчиняются специальным законам. Роль общих принципов заключается в том, чтобы сделать для нас правдоподобным, почему эти явления имеют место именно таким, а не другим образом. Если мы обратимся к той цепи, которая соединяет положения, касающиеся нашего непосредственного опыта, с общими положениями науки, то мы можем поставить вопрос о роли этой цепи в человеческой жизни. Эту роль можно показать через описание концов цепи.

Начнем с того конца цепи, который соответствует непосредственно наблюдаемым фактам, описываемым языком повседневной жизни. Постараемся установить принципы, из которых можно вывести эти наблюдаемые факты. Из одного принципа можно в некоторых случаях вывести огромное число наблюдаемых фактов. Из законов Ньютона можно вывести факты, касающиеся движений небесных тел; из электромагнитной теории — факты, касающиеся всех электрических и магнитных явлений; из законов Менделя — формы наследственности и т. д. Эти принципы позволяют ориентироваться в мире фактов. Они помогают нам практически применить результаты наших наблюдений. Этот конец цепи кратко можно назвать экспериментальным, или техническим. Такое использование цепи — выдвижение принципов, из которых мы можем выводить наблюдаемые факты, и применение наблюдаемых фактов — есть именно то, что мы теперь называем наукой. Наука не очень интересуется тем, правдоподобны ли эти принципы. Последнее мало касается ученого как такового. Во многих учебниках можно найти утверждение, что вопрос о правдоподобии

этих принципов не имеет никакого значения. В самом деле, говорится в этих учебниках, принципы науки XX века, вроде принципа относительности или квантовой теории, вовсе не правдоподобны, а парадоксальны и вносят путаницу. Так что мы можем этот «экспериментальный, или технический, конец» с одинаковым успехом назвать также и «концом» цепи, представляющим науку.

В древней науке, однако, люди требовали также, чтобы, например, закон инерции выводился из правдоподобных или доступных пониманию принципов, вроде принципа достаточного основания (ничто не может возникнуть без причины) или закона вечности субстанции (материя вечна; она не может быть уничтожена или создана). Этот конец, где законы физики выводятся из интеллигибельных принципов и самоочевидных принципов, можно назвать концом цепи, представляющим философию. Законы промежуточной степени общности, то есть физические законы, сами сводятся к законам более высокой степени общности, непосредственно интеллигибельным. Всякий поймет, для чего нам нужен конец цепи, представляющий науку, но зачем нам нужен противоположный конец, который представляет философию? Нет никакого сомнения в том, что для практических целей человечество всегда нуждалось в этом конце цепи, представляющем философию. Несомненно, что так было во все времена и остается в наше время. Когда были разработаны принципы относительности и квантовой механики, некоторые говорили: «Может быть, вы и сможете вывести полезные результаты из этих принципов, но они тем не менее туманны и парадоксальны. Они служат какой-то практической цели, но не поддаются «разумному пониманию». Мы не «понимаем» эти теории так, как понимали ньютоновскую механику». Существуют, конечно, весьма различные мнения о настоящих условиях, при которых мы рассматриваем какой-либо принцип как интеллигибельный. Некоторые говорят, что они «непосредственно постигаются интуицией». Другие подчеркивают, что вопрос о том, какие принципы человек рассматривает как

интеллигибельные, является функцией исторической эволюции. Во всяком случае, настойчивое стремление приобрести эти интеллигибельные принципы существует; это психологический факт. Но какая потребность действительно удовлетворяется этими принципами? Эта потребность не может быть научной, иначе эти принципы были бы просто научными принципами, вроде законов физики, и подтверждались бы их эмпирическими результатами.

Анализируя работу ученых, мы узнаем, что наблюдаемые явления, как бы они ни казались сложны, во многих случаях могут быть с некоторым приближением выведены из простых математических формул. Положения падающего тела могут быть приблизительно описаны с помощью формулы: «ускорение постоянно». Положения планет относительно Солнца могут быть приблизительно описаны с помощью выражения, что они «расположены» по коническому сечению, называемому эллипсом. Ученый описал бы эти факты следующим образом: начиная с наблюдения положений ученый ищет простую формулу, из которой можно вывести наблюдаемые положения. Метод, с помощью которого такая формула обнаруживается, называется «индукцией». Нахождение формулы требует со стороны ученого применения творческого воображения. Если мы хотим описать это нахождение формулы с помощью нашего повседневного языка, есть два способа описания. Одно из этих описаний заключается в утверждении, что формула есть «изобретение» ученого, что она не «существовала» до того, как ученый изобрел ее. Мы сравниваем это изобретение с изобретением, например, телефона, который не существовал до того, как Александр Грейам Белл «изобрел» его. Гипотеза или формула есть продукт человеческого воображения, изобретательной силы ученого. Она (то есть формула) должна быть проверена чувственным опытом.

Однако это же положение может быть описано и с помощью совершенно другой аналогии, аналогии, связанной с опытом обыденного здравого смысла. Мы могли бы сказать, что формула всегда существовала

в самих наблюдаемых фактах. Ученый только «открывает» ее, как Колумб «открыл» Америку. Ученый не изобретатель: он «видит» формулу своим «внутренним оком» благодаря тому, что воспринимает наблюдаемые явления своими органами чувств. Для открытия формулы ученый пользуется «интуицией».

Последний способ описания деятельности ученого согласуется с «великой традицией» схоластической философии, тогда как описание работы ученого как «изобретения» согласуется больше с линией позитивизма и прагматизма. Ганс Рейхенбах в своей книге «Возникновение научной философии» указывает, что характерной чертой древней и средневековой философии была вера в то, что существует «видение умом», что аналогично видению глазами. Как глазами мы видим формы и цвета, так и умом видим идеи и общие законы. Это было основой теории идей, особенно платоновской теории идей. Согласно Рейхенбаху, аргументы традиционной философии заключались в следующем:

«Поскольку физические вещи существуют, постольку их можно видеть; поскольку идеи существуют, постольку их можно видеть очами разума... Математическое видение сконструировано Платоном по аналогии с чувственным восприятием»¹.

Современный ученый говорит, что гипотезы и формулы являются результатом воображения и проверяются испытанием и заблуждением. А философ «великой традиции» сказал бы, что ученый «видит» формулу в наблюдаемых явлениях благодаря силе своего интеллекта. Аналогия между непосредственным чувственным восприятием и непосредственной интеллектуальной интуицией настойчиво подчеркивается Аристотелем, который утверждает, что «как чувства всегда правдивы в отношении их собственных чувственных объектов, так правдив и интеллект в отношении того, что *представляет собою вещь*». А Фома Аквинский говорит: «Следовательно, интеллект не обма-

¹ H. Reichenbach, The Rise of Scientific Philosophy, Ch. 2, p. 20.

нывается в отношении сущности вещи, как не обманывается и чувство в отношении своего объекта».

Вера в эту аналогию объясняет убеждение в том, что наш интеллект может «открыть» посредством интуиции общие законы природы и что он может быть уверен, что они истинны.

7. Научный и философский критерии истины

Мы можем поставить вопрос: на каких основаниях признаются одни принципы и не признаются другие? Мы можем различить два критерия истины, или, говоря языком, более близким к языку обыденного здравого смысла, два основания для признания какого-либо принципа. С исторической точки зрения представляет интерес то, что это различие двух критериев истины является очень старым. Оно было хорошо сформулировано Фомой Аквинским, главным представителем средневековой философии, в XIII веке. Критерий, который он разработал и описал в своей «Summa Theologica», все еще может рассматриваться как характерное различие между двумя частями нашей цепи. Одно основание для веры в утверждение заключается в том, что мы можем вывести из него результаты, которые могут быть проверены наблюдением; другими словами, мы верим в утверждение благодаря его следствиям. Например, в законы Ньютона мы верим потому, что на основании их можем вычислить движения небесных тел. Второе основание для веры — и средневековая философия считала его высшим — заключается в том, что мы верим в утверждение потому, что оно может быть логически выведено из интеллигибельных принципов.

С современной научной точки зрения мы применяем только первое из этих двух оснований. Мы можем назвать это «научным критерием» в современном смысле слова. Как указывает Фома Аквинский, этот критерий никогда не убеждает. На основании этого критерия мы находим, например, что заключения, выведенные из определенной совокупности принципов,

согласуются с наблюдением. В этом случае мы можем заключить, что данные принципы могут быть верными, но не обязательно, что они должны быть верными. Вполне возможно, что те же самые наблюдаемые результаты могли быть выведены также и из другой совокупности принципов. В таком случае на основе наших наблюдений нельзя решить вопрос о выборе одного из двух разных принципов. Например, внезапно исчезает чей-то кошелек. Мы можем выдвинуть предположение, что он был украден мальчиком, и заключить, что если мальчик действительно украл его, то кошелек исчез. Но и в том случае, если кошелек будет украден девочкой, он также исчезнет. Если же мы выдвинем предположение, что некий мальчик украл кошелек, а затем увидим, что кошелек не исчезал, то можем заключить, что наше предположение ложно. Но если кошелек действительно пропал, предположение, что его украл мальчик, может оказаться истинным, но не является необходимым. Поскольку мы никогда не можем представить себе все возможные предположения, постольку не можем сказать, что такое-то определенное предположение является верным. Никакое предположение не может быть «доказано» посредством эксперимента. Правильно было бы говорить, что эксперимент «подтверждает» определенное предположение. Если человек не находит своего кошелька в своем кармане, это подтверждает предположение, что среди окружающих, возможно, есть вор, но не доказывает его. Этот человек мог оставить кошелек дома. Таким образом, наблюдаемый факт подтверждает и предположение, что он мог забыть его дома. Всякое наблюдение подтверждает множество предположений. Весь вопрос в том, какая требуется степень подтверждения. Наука похожа на детективный рассказ. Все факты подтверждают определенную гипотезу, но правильной оказывается в конце концов совершенно другая гипотеза. Тем не менее следует сказать, что в науке нет никакого другого критерия истины, кроме этого.

Во втором случае — случае философского критерия истины — гипотеза рассматривается как истин-

ная; если она выводится из самоочевидных, ясных, интеллигибельных принципов. Эти два критерия имеют силу на обоих концах нашей цепи. Когда мы имеем в виду конец цепи, представляющий науку, то говорим, что принципы доказываются их наблюдаемыми следствиями. Это верно в отношении самых общих принципов. Но если мы начнем с принципов причинности или достаточного основания и попробуем проверять эти принципы их следствиями посредством эксперимента, то следствия из них будут довольно туманны и сложны. С философской точки зрения эти принципы имеют то преимущество, что они самоочевидны.

Эта «самоочевидность» первоначально основывалась на вере в аналогию между «видением посредством глаз» и «видением посредством разума». Ниже (гл. 2, § 7) мы покажем, почему поиски «самоочевидных и интеллигибельных» принципов пережили веру в аналогию между глазами и разумом.

Мы выразили критерий истинности Фомы Аквинского «модернизированным» языком. Однако было бы полезно знать его собственную формулировку. Он писал:

«Для установления чего-либо разум может быть использован в двух направлениях: во-первых, в целях приведения достаточного доказательства какого-либо принципа, как в естественной науке, когда достаточное доказательство может быть приведено, чтобы показать, что движение небес имеет всегда постоянную скорость. Разум используется и в другом направлении — не как приводящий достаточное доказательство какого-либо принципа, а как подтверждающий уже установленный принцип путем показа соответствия ему его результатов, как в астрологии теория эксцентриков и эпициклов считается установленной потому, что с ее помощью могут быть объяснены видимые явления небесных движений; однако не так, как если бы доказательство было достаточным, тем более что их может объяснить и какая-либо другая теория»¹.

¹ St. Thomas Aquinas, Summa Theologica.

8. Практическая польза «философской истины»

Прежде чем мы углубимся в вопрос, являются или не являются эти принципы самоочевидными и почему мы так заботимся о них, выясним, какова «практическая» польза этих общих принципов. Считают, что они описывают вселенную в ее целостности, в ее глубочайшей структуре. Для чего нам нужно знать это? Влияет ли это на нашу жизнь? Каково это влияние? Мы думаем, что человеческое общество является в некотором смысле образом вселенной, что мы действуем естественно, если действуем согласно законам вселенной. Человек верит, что, когда он даст формулу общей структуры вселенной, люди в общем в своей жизни будут некоторым образом следовать этой структуре. Но многие не будут сознавать, что они поступают таким образом. Если же мы поступим в воскресную школу, то в самом раннем возрасте проникнемся представлением об этой глубочайшей структуре вселенной. Традиционная религия является одной из теорий, исходя из которой можно дать объяснение глубочайшей структуры вселенной. Кое-кто может, пожалуй, сразу решить, что физические теории, вроде теории движения, не имеют такого влияния на ориентацию человеческих действий, какое мы приписываем традиционной религии, однако стоит исследовать эту теорию с точки зрения данного влияния.

Древние законы сильно отличались от современных. Законы движения для земных тел отличались от законов движения для небесных тел. Считалось, что все земные тела имеют тенденцию двигаться к какой-то определенной цели: камни — вниз, воздух и огонь — вверх. Эта тенденция двигаться по направлению к какой-то определенной цели считалась характерной чертой всякого земного движения. Считали, что небесные тела движутся вечным круговым движением. Другими словами, закон движения зависел от субстанции тела. Верили, что небесные тела сделаны из совершенно другой материи, чем земные, — из нематериальной, тонкой субстанции. Вселенная состоит

из более обычной субстанции земных тел и более благородной субстанции небесных тел.

Точно так же считалось, что мир состоит из низших и высших типов существ. Таким образом, теория движения играла очень большую роль во всей жизни человека — она поддерживала его веру в иерархическую структуру общества. Она оказывала поддержку моральному поведению людей. Даже в древности существовали «плохие» люди, которые не видели разницы между небесной и земной субстанциями, — люди, подрывавшие веру, которую все необходимо должны были иметь. В диалоге Платона «Законы» говорится, что таких людей надо заключать в тюрьму.

Все те, которые называют себя деятелями просвещения (а каждый, кто получил образование, хочет быть деятелем просвещения), верят, что один образ жизни лучше, чем другой, и что они должны оказывать поддержку тем научным теориям, на которые опираются и другие их верования. Таким образом, эти общие принципы влияют на человеческое поведение. В некотором смысле эти интеллигентные принципы являются более практическими по своему воздействию, чем принципы физики. Техническое воздействие науки менее непосредственно, чем прямое приказание кому-либо относительно того, что он должен сделать. Таким образом, самые общие принципы, понимаемые разумом, являются также практическими, но в другом плане они оказываются даже более практическими. Грубо говоря, наука в собственном смысле слова снабжает нас техническими средствами, с помощью которых мы можем производить оружие для победы над врагом, а философская интерпретация науки может направлять поведение человека таким образом, что он действительно использует это оружие.

Мы легко можем проиллюстрировать это положение примером, взятым из философии древней Греции. В своей работе «Государство» Платон обсуждает вопрос о том, по какой программе следует обучать будущих вождей общества, чтобы они могли стать «хорошими» вождями. Один участник диалога говорит

о том, входит ли астрономия в этот план и как обосновать этот предмет преподавания. Сократ, представляющий в диалоге мнение Платона, решительно отвергает взгляд, что астрономию следует преподавать ради ее технических результатов, ради ее пользы в сельском хозяйстве или навигации. Этот род знания не имеет отношения к образованию будущих вождей. Однако если мы будем искать интеллигибельные принципы, которые объясняют движения небесных тел, то мы найдем, согласно учению древних греков, что планеты приводятся в движение божественными существами, которые движут их по кругам, совершенным по своей правильности, потому что сами являются совершенными существами. Эти философские принципы астрономии не очень полезны для технических целей, для действительного вычисления наблюдаемых положений на сфере. Но вера в это философское истолкование оказывает поддержку вере в божественные существа. А эта вера в свою очередь очень полезна для поддержания «хорошего» поведения граждан. С этой точки зрения, говорит Платон, астрономия является очень важным предметом в учебном плане будущих вождей.

Мы получим очень ясную идею о цепи, связывающей науку с философией, если учтем при этом то толкование астрономии, которое было принято Платоном. Французский физик, философ и историк Пьер Дюгем указал, что Платон различал три ступени астрономии: наблюдательную, геометрическую и теологическую (или философскую). Они располагаются в нашей цепи именно в этом порядке.

Дюгем описывает концепции Платона в очень удобной для нас форме, если мы хотим понять отношение между наукой и философией в то время, когда обе еще составляли одну неразрывную систему мысли.

«Существуют три ступени познания. Нижняя ступень есть познание через чувственное наблюдение. Высшая ступень есть познание с помощью чистого интеллекта; оно созерцает вечные существа и сверх того верховное благо».

Эти две ступени познания совпадают с тем, что выше мы назвали «смешанными агрегатами» и «интеллектуальными принципами» или «вещами, созерцаемыми непосредственно» и «вещами, видимыми разумом». Затем Дюгем говорит:

«Между низшей и высшей ступенью познания находится род смешанного и гибридного рассуждения, который занимает промежуточную ступень. Познание, порожденное этим промежуточным рассуждением, является геометрическим познанием. Этим трем ступеням познания соответствуют три ступени геометрии».

Может показаться странным, что то, что мы называем «современной наукой», развилось из этого «смешанного и гибридного рассуждения», которое характеризует промежуточную ступень познания. Дюгем продолжает:

«Чувственное восприятие лежит в основе наблюдательной астрономии. Эта астрономия изучает сложные кривые, описываемые звездами... С помощью геометрического рассуждения ум создает астрономию, которая способна устанавливать точные фигуры и постоянные отношения. Эта «истинная астрономия» заменяет неустойчивые траектории, которые наблюдательная астрономия приписывала звездам, простыми и постоянными орбитами... сложные и разнообразные явления — ложное знание... Чистый разум обнаруживает третью и наивысшую астрономию — астрономию теологическую (или философскую). В постоянстве небесных движений она видит доказательство существования божественных духов, которые объединяются с небесными телами»¹.

¹ Pierre Duhem, *Système du Monde*, Part I, Ch. II, XIII, p. 100 и далее.

Глава 2

РАЗРЫВ ЦЕПИ

1. Как произошел разрыв

Фома Аквинский объяснил различие между двумя критериями веры с помощью примера, который он взял из астрономии. Чтобы знать движение небесных тел, достаточно из интеллигибельных принципов вывести, что они вечно движутся по кругу, потому что небесные тела — совершенные, божественные существа. Вечное круговое движение, очевидно, более совершенно, чем любое некруговое или прерывное движение. Однако даже в древности было известно, что эти законы движения, выведенные из самоочевидных принципов, не дают точных наблюдаемых положений тел на сфере. Поэтому астрономия разработала теорию эпициклов, или наложения круговых движений различных радиусов, из которой можно было вывести сложные наблюдаемые движения небесных тел. Фома Аквинский подчеркивал, что теория эпициклов не могла быть выведена из самоочевидных принципов. Она находилась в согласии с наблюдениями, но могла оказаться ложной, так как не выводилась из интеллигибельных принципов. Разрыв в цепи, соединяющей науку и философию, произошел оттого, что критерий для признания принципа был не один и тот же в обеих частях цепи «наука — философия», или, говоря другими словами, по всей оси «наука — философия».

Мы уже несколько раз говорили об этой цепи, соединяющей науку и философию, непосредственное наблюдение и интеллигибельные принципы. Это можно графически грубо изобразить на чертеже (рис. 1). Эта цепь представляет собой то, что можно назвать наука плюс философия. Вдоль этой цепи мы имеем утверждения различных степеней общности. С одной стороны, утверждения факта, с другой — общие принципы, ясные и интеллигибельные принципы сами по себе. Между ними имеются утверждения средней общности — закон Ома, ньютоновский закон



Рис. 1.

тяготения, законы электродинамики, менделевские законы наследственности. Все они — утверждения, не являющиеся интеллигибельными принципами сами по себе, но полезные для построения теории.

Это различие, очевидно, связано с двойным критерием для веры. Если у нас имеются утверждения средней общности — законы физики, например, — то почему мы считаем, что они истинны? В науке мы пользуемся критерием истины, который требует, чтобы мы могли вывести из этих законов факты, находящиеся в согласии с опытом. Мы говорим, что закон подтверждается опытом. Как мы уже указывали, неправильно считать, что эти законы средней общности всегда «доказываются» экспериментом или, еще хуже, что они могут быть «выведены из фактов». Любое утверждение можно вывести только из более общего утверждения и никогда — из менее общего. Например, из утверждения «все люди смертны» мы можем вывести, что такой-то конкретный человек смертен, но из того, что все конкретные люди, которых мы знали, умерли, мы не можем вывести утверждения, что «все люди смертны». Среди греков был

человек, который говорил, что никто не может доказать ему, что он смертен. Пока он жив, он отказывается верить, что он смертен, а когда умрет, никто не сможет доказать ему вообще что-либо. Общее утверждение всегда есть продукт способности человеческого разума; этот процесс может быть назван индукцией, индуктивным предположением, воображением. Во всяком случае, это не логический вывод.

Таким образом, по словам Фомы Аквинского, мы можем верить в утверждение благодаря его следствиям. Чем больше имеется подтверждающих его следствий, тем больше мы будем ему верить. Но, как он также говорит, этим способом мы никогда не сможем доказать ни одного утверждения.

Будь то система Птолемея или система Коперника, волновая или корпускулярная теория света, очень много фактов может быть выведено из обеих теорий. Практически полезно выдвигать эти утверждения, которые затем называются принципами или гипотезами. (Между принципом и гипотезой нет разницы. Когда мы начинаем с полной серьезностью относиться к какой-либо гипотезе, мы называем ее принципом.) Научная точка зрения заключается в том, что общие утверждения только доказываются или подтверждаются их следствиями; чем они являются «по своему существу», не имеет значения. С этой «чисто научной» точки зрения не следует иметь какого-либо пристрастия к чему-то особенному. Мы связываем эту точку зрения с тем концом цепи, с которым связана наука.

Другой конец цепи связан со стремлением узнать «почему». Наука не отвечает на вопрос «почему»; она только отвечает на вопросы, касающиеся того, что происходит, а не почему происходит. Это стремление найти «почему» есть не что иное, как стремление вывести научные утверждения из общих принципов, правдоподобных и интеллигибельных. Такое стремление возникает из веры, что такие принципы существуют. В отношении критериев существует, конечно, очень много мнений насчет того, что правдоподобно и интеллигибельно.

2. Организмическая и механистическая философия

Прежде чем обсуждать значение термина «интеллигибельный», приведем исторический пример некоторых изменений, касающихся «интеллигибельных принципов». Мы обсудим переход от организмической к механистической философии. Этот переход даст пример «интеллигибельных» принципов, из которых пытались выводить принципы средней общности.

Что представляли собой «интеллигибельные» принципы, из которых в древней и средневековой науке выводились законы механики? Считалось, что всякая вещь имеет определенную природу и действует согласно этой природе, которая мыслилась для определенной цели: природа птицы заключается в том, чтобы летать, лягушки — чтобы прыгать, врача — лечить (говоря оптимистически), камня — падать вниз, дыма — подниматься вверх, небесных тел — вечно двигаться по кругу. Все действует согласно своей природе. В общем без учета деталей, исходя из этого утверждения, можно определить, как будет вести себя камень и т. д. Конечно, никто и никогда не поверил бы в принципы, из которых можно вывести что-либо, находящееся в вопиющей несогласии с опытом. Однако тот факт, что принцип согласуется с опытом, не может служить единственным основанием для того, чтобы верить в него. Этот взгляд может быть назван организмическим, потому что он изображает всякую вещь действующей так, как действовал бы организм. Общая идея — та, что способ, каким действует организм, является интеллигибельным. Аристотель говорил, что движение животного понять легче, чем движение камня. Теперь мы удивляемся этому утверждению, поскольку придерживаемся совершенно противоположного взгляда. Это утверждение характерно для организмической точки зрения.

Около 1600 года (мы обычно относим рождение современной науки ко времени научной деятельности

Галилея и Ньютона) получила развитие идея, что мы должны основывать законы движения на новых принципах. Самым характерным является закон инерции, который в полную противоположность организмической точке зрения изображает тело движущимся «по его природе» в бесконечность, куда ему совершенно незачем двигаться. Однако в начале XIX века законы Ньютона, когда люди привыкли к ним, стали рассматриваться как сами по себе интеллигибельные, правдоподобные принципы. «Организмический» взгляд на мир был заменен «механистическим». С этой точки зрения ньютоновские законы рассматриваются как в высшей степени интеллигибельные и правдоподобные законы. Но в этом случае трудно становится объяснить движение животных. Ускоренное движение человека, выходящего из классной комнаты, понять очень легко согласно организмическим принципам, с помощью описания цели этого человека — например намерения пойти позавтракать, — но очень трудно понять это ускорение с механистической точки зрения.

Много лет назад появление первого трамвая в Вене было большим событием. Существует рассказ о том, что инженер объяснял устройство трамвая эрцгерцогу, который слушал очень внимательно, и когда инженер кончил, то эрцгерцог сказал, что он не понял только одного: где находится лошадь? В силу традиции организмической точки зрения он не мог усвоить, что, кроме организма, силу может производить что-то еще. Существует также рассказ, относящийся к XX столетию, о мальчике из Нью-Йорка, который никогда не видел лошади; мы должны предположить, что по какой-то причине он никогда не был на бегах, ибо в этот век механизации существует, по-видимому, только одно это использование лошади. Можете себе представить, как он удивился, когда в первый раз отправился за город и увидел там лошадь, везущую воз. В силу механистической традиции он немедленно спросил — а где же мотор?

3. Как родилась наука в современном смысле слова

Один из выдающихся философов XX века А. Н. Уайтхед писал:

«Во все времена на земле существовали практические люди, погруженные в ни к чему не сводимые и упрямые факты; и во все времена на земле существовали люди философского темперамента, поглощенные плетением сети общих принципов»¹.

В древности и в средние века было очень мало сотрудничества между этими двумя типами людей. Уайтхед подчеркивает, что наука в современном смысле слова возникла тогда, когда началось такое сотрудничество и когда оба интереса — к фактам и к идеям — соединились. «Союз страстного интереса к фактам во всех их подробностях с такой же преданностью абстрактному обобщению составляет новую характерную особенность нашего современного общества»².

Уильям Джемс описал эти два типа людей в своей книге «Прагматизм». Он назвал их людьми «мягкого типа» и «жесткого типа»; исключительный интерес к грубым фактам, как казалось ему, выдает «жесткость» характера.

Уайтхед считал, что сотрудничество между этими типами не могло иметь места до возникновения нашего «современного общества». В древнегреческом обществе философы, или ученые, интересовавшиеся общими принципами, принадлежали к более высокому общественному классу, чем те, которые интересовались «грубыми фактами» прикладной техники, то есть ремесленники и мастеровые. Последние принадлежали к низшему классу и не имели понятия об общих идеях. Мы знаем, однако, что древние греки и римляне обладали замечательным искусством и способностями к строительству и даже к некоторым областям инженерного дела, но познания этих древних строителей и инженеров были не «философскими», или «научными», а чисто техническими. Их методы не выводились из организмической физики Аристотеля.

¹ A. N. Whitehead, Science and the Modern World, Ch. I.

² Там же.

Контраст между древним и современным подходом к техническому знанию описывается одним профессором прикладной техники в современном Риме:

«То, что современная наука и промышленность осуществляет с помощью лабораторных исследовательских испытаний и теоретических гипотез, получивших выражение в формулах... для науки и промышленности древних времен осуществлялось посредством передачи технических знаний... и с помощью эмпирических формул, ревностно охраняемых и передаваемых в загадочной, символической форме»¹.

Мы могли бы сказать, что «нижние» слои общества собирали факты, тогда как «высшие» выдвигали принципы. Сотрудничество между этими двумя типами знания не находило поддержки в обычаях общества. Если человек высокого общественного положения пытался приложить свою «философию» или «науку» к техническим проблемам, то он подвергался жестокой критике. Экспериментальная проверка общих принципов требует физического труда, который рассматривался древними греками как необходимое занятие рабов, но не свободных людей.

Мы сможем понять это отношение, если прочтем в книге Аристотеля «Политика», как он защищает институт рабства. Он сравнивал господство хозяина над рабом с господством разума человека над его телом. Аристотель говорит:

«Ясно следует, сколь естественно и полезно для тела быть в подчинении у души, а для подверженной аффектам части души быть в подчинении у разума и рассудочного элемента души, и, наоборот, какой получается всегда вред при равном или обратном соотношении»².

Исходя из этого, он выводил соответствующее отношение между человеком и животным, между мужчиной и женщиной. Этот же закон субординации, продолжает он, должен оставаться в силе и в отношении людей вообще.

¹ Gustavo Giovannoni, *The Legacy of Rome*, p. 433.

² Аристотель. *Политика*, СПб. 1911. кн. II, § 2, 11.

«Те люди, которые в такой сильной степени отличаются от других людей, в какой душа отличается от тела, а человек от животного, по своей природе — рабы. Рабом же по природе бывает тот, кто может принадлежать другому и кто настолько одарен разумом, что лишь воспринимает указания его, сам же рассудком не обладает»¹.

Раб считался существом, которое не в силах понимать общие идеи и способно понимать только приказания в отношении того, как действовать в отдельных случаях. Именно в этом и состоит различие между «философом-ученым» и ремесленником. К данному последнему типу людей, согласно этому взгляду древних греков, относились не только ремесленники, но также и те, кого мы называем «художниками» — живописцы, скульпторы, музыканты.

Насколько глубоко укоренилось презрение к физическому труду в сознании греков, можно видеть из написанной Плутархом биографии великого афинского государственного деятеля Перикла. Теперь мы рассматриваем этот расцвет искусств как великое волшебство «века Перикла», а Плутарх писал:

«За удивлением, которое вызывает совершенное дело, не всегда следует желание совершить то же самое. Напротив, очень часто какой-нибудь предмет доставляет нам удовольствие, а виновника его мы презираем; так, например, ведь нравятся нам благовонные мази и пурпуровые одежды, а красильщиков и тех, которые составляют эти мази, мы не уважаем, а презираем их ремесло... занятия предметами ничтожными заставляют человека забывать о более достойных, и труд, который человек посвящает на дело бесполезное, служит доказательством тому, что он стал равнодушен к высокому и прекрасному.

Ни один развитый юноша, видевший в Пизе Зевса... не пожелал быть Фидием... как не пожелал быть Анакреоном или Филетом... хотя и восхищался их произведениями. Ибо, если нам нравится какое-

¹ Аристотель, Политика, СПб, 1911, кн. II, § 2, 11.

нибудь произведение искусства, то из этого еще не следует, что творец его достоин нашего подражания»¹.

Мы видели, что деятели искусств, создавшие непреходящую славу Греции, люди, вроде Фидия и Анакреона, «презирались» их современниками за то, что они не посвятили себя исключительно «более благородным занятиям», то есть политике и философии.

Подобная же оценка имела место и в области науки. В то время как чистая математика в качестве интеллектуального занятия относилась к «благородным», или «свободным», занятиям, иллюстрирование геометрии механическими моделями считалось «презренным». В биографии римского полководца Марцелла Плутарх сообщает, что греческий ученый Архимед своими механическими приспособлениями способствовал защите своего родного города Сиракуз против римских завоевателей, но, пишет Плутарх, Архимед «не считал изобретение машин для военных целей предметом, достойным его серьезных занятий».

Великий философ Платон жестоко критиковал тех ученых, которые доказывали теоремы чистой механики или математики путем единичных экспериментов. Согласно Плутарху, Платон поносил их с большим негодованием, как искажающих и унижающих высокое достоинство геометрии тем, что они заставляли ее спускаться из мира бесплотных и духовных вещей в мир вещей телесных и чувственных. Кто применяет механические инструменты в геометрии, тот должен пользоваться материей, которая требует большого количества ручного труда и является объектом труда рабов.

Из этого утверждения мы ясно видим, что экспериментальное исследование в механике и физике рассматривалось древними греками как занятие, унижающее свободного человека и мешающее ему предаваться «благородным занятиям» — философии и политике. Мы теперь понимаем, что:

«[тесный] союз между поисками общих идей и регистрацией грубых фактов не мог иметь места до тех

¹ «Жизнеописания Плутарха», 1862, стр. 196—197.

пор, пока престиж ремесла и технических достижений не возрос существенным образом. Это случилось после 1600 года, когда повсюду в Европе, как в Италии, так и во Франции и Германии, ремесленники и мастера в больших городах стали общественным классом, считавшим себя равным классу земельных собственников и всему штату их адвокатов и церковников»¹.

«Новая наука», или «новая философия», состояла в соединении общих идей, логических выводов и экспериментальных исследований. «Это равновесие разума, — говорит Уайтхед, — стало теперь частью традиции, которая проникает в культивированную мысль». Он указывает, что этот новый способ мышления стал основой западного просвещения и культуры:

«Это то, что улаживает жизнь. Основным делом университетов является передача этой традиции от поколения к поколению как широко распространенного наследства... С того времени, когда младенец родился в яслях², без сомнения, не свершалось столь великого дела с таким малым шумом»³.

4. Наука как фрагмент философии

Теперь мы попытаемся показать, почему порвалась цепь «наука — философия». В древности и в средние века требования проверки общих принципов посредством наблюдаемых фактов были не очень строгими. Из интеллигибельных принципов обычно выводились лишь очень неопределенные результаты. Как мы видели, однако, древние римляне и греки создавали очень интересные сооружения на основе традиции ремесла, переходящей от одного поколения к другому с минимальными теоретическими сведе-

¹ A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Ch. I.

² По-видимому, намек на «рождество Христово», происшедшее, согласно евангельскому рассказу, в Вифлееме иудейском, в яслях для скота. — *Прим. перев.*

³ A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Ch. I.

ниями. Они пользовались тем, что мы теперь называем «умением». Из того, что мы называем наукой и философией, они вообще не могли вывести никакого технического умения. Практическое применение науки целиком оправдывалось традицией ремесленничества. От науки его не требовалось.

Приблизительно с 1600 года наука стала более требовательной; из теоретической механики она решила вывести практические применения механики. Тогда цепь порвалась посередине. Из принципов средней степени общности, то есть законов физики, можно было вывести наблюдаемые факты. «Ученые» больше не интересовались вопросом, можно ли вывести эти физические законы из принципов более высокой степени общности. Ярким примером в истории является несостоятельность теории концентрических кругов в объяснении положений планет на небе, теории, приведшей к введению «неуклюжей» теории эпициклов, которая не могла быть выведена из интеллигибельных принципов. Разрыв цепи создал науку в ее современном понимании как один фрагмент древней цепи «наука — философия». Человек осознал, что выведенные из интеллигибельных и изящных принципов утверждения могли объяснить наблюдаемые факты только очень неопределенным образом. Союз между наукой и философией был возможен только в период разделения между наукой и технологией.

Было бы большим преувеличением сказать, что ученые древности и схоласты средних веков верили только в дедукции из общих принципов и совсем не верили в согласие с опытом. Мы должны признать, что все они верили и в то и в другое. В поздние средние века возникло философское движение, представлявшее собой переход от средневекового к современному мышлению. Это движение подчеркивало решающую роль опыта в науке и до некоторой степени умаляло роль логического доказательства. Оно выступало в защиту того факта, что один из критериев истины Фомы Аквинского выдвигался на первый план. Новое движение подчеркивало значение «научного критерия». Как предшественника этого движе-

ния, мы можем процитировать Роджера Бэкона, философа XIII века.

«Существуют два способа приобретения знания, именно: посредством доказательства и посредством опыта... Доказательство приходит к какому-то заключению и заставляет нас соглашаться с ним. Но доказательство не изгоняет сомнения настолько эффективно, что ум успокаивается в созерцании истины до того, как истина раскрывается путем опыта»¹.

В современной, даже очень хорошо «проверенной» науке нет ни одной теории, которая согласовалась бы со всеми фактами. Мы принимаем некоторые общие принципы, которые кажутся правдоподобными, и стараемся вывести из них факты по возможности наилучшим образом. Очень красиво звучит, когда говорят, что мы отбрасываем теорию, если вскрывается хотя бы одно несогласие ее с фактами, но на самом деле никто этого не делает, пока не будет найдена новая теория. Хорошим примером была неспособность ученых XVIII века отказаться от гипотезы «флогистона», когда был обнаружен факт, не согласующийся с заключениями, выведенными из этой гипотезы. Когда чистый металл, вроде олова, нагревается в присутствии воздуха, то металл становится земистой материей, которую мы называем «окислом», а самый процесс — «окислением». Это явление объяснялось гипотезой, согласно которой, когда чистый, блестящий металл подвергается нагреванию на воздухе, он испускает материю, называемую флогистоном (греческое слово, обозначающее материю, вызывающую горение (-теплород). Благодаря потере этой материи блестящий металл становится тусклой «известью». Поскольку данный процесс объяснялся отделением флогистона от металла, то казалось бы, что получающаяся в результате известь должна была весить меньше, чем металл, но на самом деле получилось наоборот. «То, что известь весила больше, чем металл, было известно на протяжении всего XVIII века, но этот факт не признавали фатальным для теории

¹ Roger Bacon, *Opus Magnus*, Vol. 2, p. 169—170.

флогистона». Установив это как несомненный факт, Джемс Брайант Конэнт писал:

«Это важно. Доказывает ли это глупость опирающихся на эксперимент философов того времени? Совсем нет, это доказывает только то, что в сложных делах науки люди стараются объяснить разнообразие фактов и объединить их в понятийную схему; одного факта самого по себе недостаточно, чтобы разрушить схему. Понятийная схема никогда не отбрасывается только потому, что обнаруживается несколько не поддающихся объяснению фактов, с которыми она не может быть согласована; понятийная схема или модифицируется, или заменяется лучшей, но никогда не отбрасывается так, чтобы вместо нее оставалось пустое место»¹.

Если обнаруживается какой-либо отдельный факт, который противоречит заключению, выведенному из теории или понятийной схемы, то единственное, что мы с достоверностью можем узнать из этого противоречия, есть то, что в теории «что-то неверно», но мы точно не знаем, что именно. Теория состоит из большого числа утверждений, могущих связываться друг с другом сложным образом. Вновь обнаруженный факт не говорит нам, какое из этих утверждений ложно. На обычном языке ученого мы сказали бы, что «теория опровергнута» фактами, если утверждения, являющиеся «существенными» для теории, должны быть из нее изъяты. В таком случае с помощью какого критерия мы отличаем существенные части от случайных? Из главы 1, § 3 мы знаем, что «существенная часть теории» в действительности значит «существенная для специальной цели этой теории». Поэтому мы не можем сказать, что некий определенный факт опровергает такую-то определенную теорию, а только то, что он несовместим со специальной целью теории. Мы в силах свободно изменять утверждения, которые не являются существенными для этой цели, и таким образом достичь согласия с этим новым фактом.

¹ J. B. Conant, Science and Common Sense, Sect. 7.

Дальше мы разберем примеры этой ситуации. Мы можем легко понять это через сравнение теории с показаниями прибора, регистрирующего высоту полета самолета. Если самолет начинает терять высоту, мы можем заключить лишь то, что где-то должна быть «какая-то неправильность». Она может быть в любой части прибора, в качестве горючего или в чем-нибудь ином. Мы не можем сделать заключение, что «прибор испортился»; вероятно, только с помощью небольшого изменения мы получили бы запись полета прекрасного качества. Мы можем спросить себя, доказывает ли это, что первоначальная запись была неверной. Это зависит от того, насколько «существенны» были необходимые изменения. Но мы знаем, что «существенное» всегда имеет отношение к определенной цели. То, что самолет не выполнил ожидаемого движения, не «доказывает», что прибор должен быть забракован.

Много говорилось о «решающем эксперименте», который якобы может решить, должна ли быть отвергнута такая-то определенная теория. Единичный эксперимент может опровергнуть теорию только в том случае, если под теорией мы имеем в виду систему отдельных утверждений, исключающую возможность какого-либо ее изменения. Но то, что называется теорией в науке, в действительности никогда не является такой системой. Если мы говорим о «теории эфира», или о «корпускулярной теории» света, или о «теории эволюции» в биологии, то каждое из этих названий может обозначать большое разнообразие возможных систем. Поэтому никакой решающий эксперимент не может опровергнуть ни одну такую теорию. Знаменитым примером был «решающий эксперимент», предложенный в 1850 году Араго для проверки корпускулярной теории света. Эта теория была опровергнута в 1855 году, а в 1905 году Эйнштейн снова воспользовался ею в сильно измененной форме, эта теория стала известна под именем гипотезы «световых квантов», или «фотонов».

Пьер Дюгем в своей книге «Физическая теория, ее предмет и структура» говорит прямо: «В физике

решающий эксперимент невозможен». Само собой разумеется, что в качестве примера Дюгем разобрал эксперимент Араго, который считали дающим окончательное решение в отношении выбора между корпускулярной и волновой теориями света. Дюгем указал, что нельзя доказать, будто, кроме этих двух возможностей, не существует никакой третьей. И как раз в том же 1905 году, когда Дюгем написал свою работу, Эйнштейн действительно открыл (или, быть может, «изобрел») эту третью возможность — теорию световых квантов.

В то же время новая теория никогда не была бы признана, если бы она не обладала определенной степенью простоты и изящества. Эти критерии имеют определенную связь с концом нашей цепи, с которым связана философия. То обстоятельство, что указанные два критерия не всегда хорошо совпадают, привело к мысли, что наука и философия — две совершенно различные области знания. Некоторые полагают, что они никогда не будут соперничать друг с другом, что они должны быть двумя самостоятельными областями дискурсивного познания. Это состояние разделения было преобладающим отношением между наукой и философией в учебных планах университетов в течение XIX и первой половины XX столетия. И сейчас оно является все еще типичным положением в наших высших учебных заведениях. Вместе с тем дальше мы покажем, что были предприняты энергичные попытки восстановить единство с помощью более широкого понятия науки.

5. Как «наука» может стать «философией»

Мы видели, что цепь «наука — философия» разорвалась из-за того, что правдоподобные и интеллигбельные принципы, которые как-то описывали глубочайшую структуру вселенной, не давали практических результатов в области доступных наблюдению фактов и технических приложений. Когда была создана механистическая наука Галилея и Ньютона, люди

не ломали голову над вопросом, являются ли эти законы интеллигибельными. Позднее, когда стало очевидно, что эти законы очень хорошо служат их технической цели, они все больше и больше стали рассматриваться как интеллигибельные или философские принципы. Мы можем видеть, как эта механистическая наука проходит три стадии развития. На первой стадии законы признавались, потому что они были в согласии с наблюдаемыми фактами, но они рассматривались как чисто описательные, потому что не могли быть получены из интеллигибельных принципов, которые были в то время организмическими. На второй стадии механистические законы получили репутацию очевидных сами по себе и интеллигибельных. Однако в XX веке были выдвинуты новые физические теории, в отношении которых считается, что они объясняют наблюдаемые факты лучше, чем это делают механистические принципы. На этой третьей стадии механистические принципы все еще рассматриваются как интеллигибельные, но уже как не имеющие практического значения. Теперь утверждается, что новые теории — квантовая механика, теория относительности — признаются потому, что они имеют практическое значение (другими словами — потому, что на их основе мы можем построить новые технические сооружения, такие, как атомная бомба, которые до этого не могли построить), однако они не являются интеллигибельными.

Таким образом, как видно из исторического рассмотрения, можно совершенно уверенно утверждать, что нет существенной разницы между интеллигибельными принципами и утверждениями науки, из которых могут быть выведены наблюдаемые факты. Через каких-нибудь сто лет формула Эйнштейна $E = mc^2$ будет, вероятно, рассматриваться как самоочевидное утверждение. Тем не менее именно от этого различия — между интеллигибельным и чисто практическими утверждениями — зависит разделение между наукой и философией. Развитие теории шло от представления о вечном движении по концентрическим кругам к птолемеевской системе эпициклов,

к системе Коперника, к отказу от круговых движений вообще и признанию эллиптических орбит планет; люди должны были признавать все эти следующие друг за другом теории, потому что они давали результаты, хотя это и обозначало крушение их интеллигибельных принципов. Сейчас мы проиллюстрируем это общее значение несколькими примерами.

Когда Коперник выдвинул свою гелиоцентрическую теорию, против него выступали не только защитники традиционной теологии и философии, но также и те люди, которые крепко верили в эмпирический характер науки. Фрэнсис Бэкон назвал Коперника человеком, «который не задумывается о том, что он вносит в природу всякого рода вымыслы, лишь бы хорошо выходили его вычисления». Другими словами, это значит, что Коперник применял только «научный» критерий истины и оставлял без внимания философский (гл. 1, § 7). Бэкон назвал систему Коперника вымыслом, тогда как геоцентрическую систему считал гипотезой, или теорией. Различие между вымыслом и «теорией» все еще проводится и теперь многими учеными и философами. Очень часто теория относительности Эйнштейна называется вымыслом, тогда как механика Ньютона считается «теорией». В чем же между ними различие? Если мы проследим способ выражения Бэкона, то «вымысел» есть система утверждений, из которых наблюдаемые факты могут быть выведены путем математического рассуждения, но утверждения, которые составляют «вымысел», не являются интеллигибельными или правдоподобными сами по себе. Они не могут быть поняты с помощью аналогий с опытом повседневной жизни. Те авторы, которые наклеивают ярлык «вымысла» на физические теории нашего XX века, понимают это слово совершенно так же, как его понимал Бэкон. В главе 4 мы покажем те особые причины, которые заставили Бэкона и его современников назвать теорию Коперника «неправдоподобной и неинтеллигибельной».

Техническое превосходство теории Коперника над птолемеевской никогда не отрицалось; оно признава-

лось даже церковью. Чем дальше совершенствовался астрономический опыт и астрономические теории, тем большее признание получило это превосходство. В ньютоновской механике с Солнцем стала связываться система отсчета, в отношении которой законы движения были справедливыми, что не имело места в отношении Земли. Преимущественный характер системы отсчета, связанной с Солнцем, был тогда установлен без всякого сомнения, но когда эта роль Солнца была признана, считалось очень «правдоподобным» и интеллигибельным, что Солнце находится «в покое». Теперь считалось невероятным, чтобы огромное Солнце со всеми неподвижными звездами, с которыми связана эта основная система отсчета, вращалось вокруг нашей маленькой, ничтожной Земли. Из «технически полезной» система Коперника превратилась в теорию, которая была интеллигибельной и философски истинной.

Однако какая теория, будучи сама по себе интеллигибельной, обладала бы вечной ценностью. Если бы она была истинной не по ее наблюдаемым следствиям, а только с «точки зрения ее внутренней сущности», то дальнейший опыт не мог бы внести никаких изменений в нашу веру в ее истинность. Но в XX веке, когда Эйнштейн выдвинул свою общую теорию относительности, оказалось, что любая система отсчета приемлема также и в механике и что преимущественный характер системы отсчета, связанного с Солнцем, сказывается в очень ограниченной части вселенной.

Мысль о том, что система Коперника является интеллигибельной сама по себе, снова оказалась иллюзорной.

Подобным же образом и отношение к ньютоновским законам движения подвергалось радикальным изменениям. Его теория движения планет покоилась на двух основаниях — на законе инерции и законе тяготения. Ни одна из этих гипотез не казалась современникам Ньютона интеллигибельной или даже правдоподобной. Однако математические выводы, полученные из них, прекрасно согласовывались со всеми

известными наблюдениями движений планет, включая даже взаимные возмущения. Теория Ньютона была признана благодаря ее техническому совершенству за «научно истинную», но первоначально она не признавалась «философски истинной». Величайшие ученые того времени, такие, как Гюйгенс и Лейбниц, противились признанию принципов, которые не были интеллигибельными. Для Лейбница законы инерции и тяготения были таким же «вымыслом», каким была система Коперника для Бэкона. Ньютона, как и Коперника, считали человеком, который признает любой вымысел, если только он приведет путем правильного математического рассуждения к результатам, согласующимся с опытом.

Сам Ньютон пояснил свои взгляды в письме, адресованном Лейбницу:

«Понимание движения планет как осуществляющегося под влиянием тяготения без учета причины тяготения представляет собой такой же прогресс в философии, как и понимание формы часов и зависимости их колесиков друг от друга без знания причины тяготения веса».

Ньютон рассматривал свою теорию тяготения как аналогичную особому виду часового механизма, заставляющему планеты двигаться. Он соглашался с тем, что если бы его законы тяготения и инерции могли быть получены из интеллигибельного принципа, то это послужило бы прогрессу в понимании, но он предпочел ограничиться тем, что мы назвали «чисто научным» аспектом, и устранился от поисков интеллигибельных принципов. Он начал с принципов «средней общности». Его знаменитая формула: «Я не сочиняю гипотез» — означает другими словами: «Я ограничиваюсь вымыслами, и мне нет дела до интеллигибельных принципов». Его целью, очевидно, была «научная истина», а не «философская истина».

Однако после громадных успехов развития техники на основе ньютоновских законов с начала XIX века происходило непрерывное укрепление веры в то, что ньютоновские законы сами по себе интеллигибельны. Проводились аналогии между законом

инерции и той неподвижностью, с которой мы сталкиваемся в личном опыте, и в конце концов ньютоновские законы стали рассматриваться как интеллигибельные принципы. Когда они достигли этого состояния, они перестали зависеть от дальнейших экспериментальных исследований. Они были объявлены самоочевидными положениями, которые будут истинными во всякой будущей системе физики.

Таким путем научная теория Ньютона стала «философской системой». С этих пор всякая попытка изменить ньютоновские законы рассматривалась как противоречащая самоочевидным принципам. Механистическая физика стала механистической философией. Всякая новая физическая теория, противоречащая ньютоновской физике, становилась теперь «абсурдной». Подобное отношение к физическим теориям наиболее ярко выразилось в отношении теории относительности и квантовой теории.

6. Спекулятивная наука и метафизика

Принципы и наблюдения науки формулируются не одним и тем же языком. Мы описали (предварительно) язык наблюдения как утверждения о меняющихся пятнах, в то время как общие принципы науки используют такие термины, как «сила», «потенциал», «энергия» и т. д. Из утверждений относительно абстрактных терминов мы никогда не можем вывести ничего о наблюдаемых фактах. В механике мы можем узнать, какими функциями переменной t являются переменные x , y и z . Но это ничего не говорит нам о наблюдаемом мире. Как можно наблюдать изменения x , y , z ? Логика науки должна включать, кроме принципов и наблюдений, еще и связующие звенья между абстрактными понятиями науки и терминами наблюдения. Эти связующие звенья называются «операциональными определениями» или иногда «семантическими правилами». Обсуждение этих правил также относится к логике науки. Здесь мы не интересуемся вопросом, являются ли принципы

интеллигибельными или не являются. Единственное требование — чтобы результаты согласовывались с опытом. В этом заключается их полное оправдание, и другого оправдания с точки зрения науки не существует.

Приняв эту точку зрения, мы оставили без внимания значительную часть нашей цепи. Ученый может сказать, что остальное в цепи его вообще не интересует, что мы не должны ни говорить, ни думать об этом. Это только один из способов рассмотрения вопроса. Очень многие не согласны с тем, что другой конец цепи должен полностью игнорироваться. Поскольку интеллигибельные принципы не могут быть проверены методами науки непосредственно, постольку мы должны поставить вопрос, как можно проверить, является ли принцип интеллигибельным. Некоторые думают, что, кроме научного, существует и другой метод мышления, который называется философским. А другие все же говорят, что человек вообще не может ничего знать об этом; что мы нуждаемся в превосходящей разум помощи, источником которой является религия. Ясно, однако, что люди стремятся расширить познание за пределы «науки» в современном ее смысле и проникнуть в область этих интеллигибельных принципов. Находятся и такие, которые объединяют обе точки зрения и не хотят расширять человеческий разум за пределы так называемой логики науки, но считают, что, с тех пор как люди имеют дело с общими принципами, эти последние принадлежат религии, которая выходит за пределы человеческого разума и обращается к сверхъестественному бытию. Этот союз человека, до мозга костей пропитанного наукой, с верой в сверхъестественное нередок.

Существуют также утверждения, что философия имеет дело с гипотезами более спекулятивного характера, чем те, с которыми имеет дело наука. Я не думаю, что это верно, поскольку все гипотезы спекулятивны. Никакого различия нельзя провести между научными и спекулятивными гипотезами. Считают, что ньютоновские законы, законы электричества и т. д.

являются научными и вместе с тем гипотезу о загробном существовании людей спекулятивной. Многие пытались проверить ее экспериментально. Если ее рассматривать серьезно, то она может быть и научной гипотезой. Конечно, такая гипотеза может быть сформулирована таким образом, что она принципиально не доступна проверке. Мы можем сказать, что после смерти люди становятся духами с их особым языком и законами и без всяких средств сообщения с человеческими существами. Это не научная гипотеза, поскольку не существует средств ее проверки. Какого же рода эта гипотеза? Она может быть названа метафизической. Ее ненаучный характер вытекает не из того, что она фантастична, поскольку и научная гипотеза также может быть фантастичной, а из того, что по своему существу она не может быть проверена на опыте. Можно сказать, что все тела материальны, что никакого духа нет. Если это утверждение сформулировано так, что его нельзя проверить, то оно является метафизическим. Если же оно значит, что все факты, касающиеся мира, могут быть выведены из законов материи, то есть электродинамики, динамики и т. д., то это научная гипотеза. Она может быть фантастическим, но не метафизическим утверждением. Тезис материализма также может иметь другое значение. Все в мире есть материя, но тем не менее мы не можем вывести все из законов механики и т. д. Такое утверждение принципиально не может быть проверено, и мы должны поэтому назвать его метафизическим.

Таким образом, мы различаем метафизические и научные утверждения. А что это значит и почему мы так страстно стремимся эти утверждения делать? Сказать, что существует только материя или что существует только дух, значит высказывать прямое утверждение о природе вселенной. На каком основании принимается такое утверждение? Какова его практическая функция? Такие утверждения имеют совершенно те же практические результаты, что и научные: они оказывают прямое влияние на человеческое поведение.

7. Вера в интеллигибельные принципы

Союз науки и философии в старом, классическом смысле, вероятно, лучше всего был представлен с помощью знаменитого дерева Декарта: корни этого дерева соответствовали метафизике (интеллигибельным принципам), ствол — физике (утверждениям средней степени общности), а ветви и плоды — тому, что мы называли бы прикладной наукой. Он рассматривал всю систему науки и философии так, как мы теперь рассматриваем одну науку; он чувствовал, что метафизические принципы в конечном итоге оправдываются их «плодами», а не просто их самоочевидностью. То, что мы теперь называем прикладной наукой, для него состояло не только из механики (техники), но также и из медицины и этики; даже и теперь мы говорим о социальной технике. Трудность состояла в том, что из общих принципов картезианской и аристотелевской науки — философии нельзя было вывести результатов, которые были бы в точном соответствии с наблюдением, но эти принципы казались интеллигибельными и правдоподобными. Так, дерево было разрезано в середине. Для получения технических результатов было необходимо начать с физических принципов в стволе, середине дерева. Наука в новом смысле слова заключалась в том, чтобы думать только о том, как плоды развиваются из ствола, не обращая при этом внимания на корни, из которых они произрастают.

Позднее, в XIX веке, стали чувствовать, что механические законы Ньютона восстановили древний союз науки и философии. Философия материализма разработала идеи, что законы механики играют ту же роль, что и старые организмические законы аристотелевской философии, и что все может быть выведено из них. В начале XX века стало очевидно, что законы механики также не являются вполне удовлетворительными. Тогда была предпринята попытка считать эти механические законы метафизическими, а факты ядерной физики считать выведенными из принципов средней степени общности. Если мы про-

анализируем историю науки, то увидим в общем довольно странное явление. После Ньютона его законы движения высоко ценились за их практическую пользу. Они оказались настолько практически полезными, что спустя некоторое время приобрели известное достоинство и в свою очередь стали затем рассматриваться как интеллигибельные принципы. Позднее оказалось, что их практическая польза была преувеличена — явление ядерной физики, например превращение массы в энергию, нельзя было вывести из них. Тогда стали говорить, что ньютоновские законы должны быть сохранены за их «достоинство», потому что они интеллигибельные. Мы подходим теперь к последнему пункту этой главы. Каков на самом деле тот критерий, с помощью которого мы решаем, являются ли эти принципы интеллигибельными?

Это упомянутое выше «достоинство» в один период приписывалось аристотелевским законам, а в другой — ньютоновским. Вера в это качество сохранилась, тогда как в научную истинность — исчезла. Мы можем объяснить это по-разному. Выражение, что человеческий ум медлителен, что люди очень медленно приспосабливаются к успехам науки, очень неглубоко раскрывало бы суть дела. Вся беда в том, что как только мы начинаем понимать некоторые общие законы науки, оказывается, что они уже ложны. Кое-что следует сказать об этом объяснении, но оно, вероятно, не раскрывает всей истины. Верно, что законы науки, которыми мы пользуемся, имеют разную степень устойчивости: некоторые мы с легкостью отбрасываем — вроде грубых эмпирических правил, употребляемых инженерами в их повседневной работе, а некоторые, например законы Ньютона, живут долго. Мы можем сказать, что такие законы правдоподобны по их внутренней природе.

Почему одни законы более правдоподобны, чем другие? Для того чтобы ответить на этот вопрос, мы должны рассмотреть некоторые примеры, как закон достаточного основания или закон сохранения материи. Почему они кажутся нам правдоподобными?

Никто не сказал бы, что закон Ома или закон электромагнитной индукции правдоподобен или интеллигибелен, не говоря уже о «самоочевидности». Если мы проанализируем это с психологической точки зрения, то увидим, что правдоподобность этих общих законов лежит в их видимой аналогии с очень хорошо известными нам наблюдениями. Сохранение материи значит для физика, что функция некоторых механических, тепловых и электрических величин остается постоянной. Сумма этих величин, весьма различных в разных областях, остается постоянной. С помощью этого закона физик может вычислить такие следствия, как скорость падающего груза или стоимость электричества. Затем он говорит, что «энергия» есть субстанция, которая не может быть уничтожена. Мы видим множество вещей в мире нашего непосредственного, повседневного опыта, которые, вероятно, не могут быть уничтожены. Мы не ожидаем, например, что дома, в которых мы живем, исчезнут перед нашими глазами; а если они разрушаются, то мы утешаемся мыслью, что они только распались на атомы и молекулы. Конечно, теперь мы знаем, что атомы могут разрушаться, но мы все же утешаемся мыслью, что электроны не могут разрушаться. Наконец мы знаем, что все может быть уничтожено, кроме энергии. Сравнение чего-либо очень сложного с чем-либо простым и известным не является очень глубоким способом мыслить — мы заменяем употребляемое физиками сложное утверждение о сохранении энергии наблюдением непосредственного опыта, что объекты не исчезают, — но оно оказывается удовлетворительным. Принципы становятся непонятными, когда они теряют эту близкую аналогию с повседневным опытом, как это случилось в наше время с принципами квантовой механики и теории относительности.

Приведем простой пример. Тот, кто изучает механику, часто начинает с простых машин, среди которых имеется и рычаг. Если он спросит, какое существует условие равновесия для простого, свободного от трения рычага, то ему скажут, что это условие состоит в том, что $gl = g'l'$ (рис. 2). Как можно это

вывести? Это положение не является «правдоподобным» само по себе, потому что для того, чтобы знать его, нужно изучать физику. Употребленное Архимедом доказательство гласило, что если грузы (g и g') и длины (l и l') равны, то рычаг не будет двигаться, потому что он не будет знать, в какую сторону ему надлежит двигаться. Если этот принцип принят, то общий принцип может быть выведен математически. У Архимеда сложилось впечатление, что он все выводил из интеллигибельного принципа. Эрнст Мах сказал, что это доказательство иллюзорно. Оно подразумевает предложение, что движение зависит только от длины плеч и величины грузов. Но оно могло бы зависеть и от цвета плеч или грузов, от материала, из которого они сделаны, от погоды, магнитного поля Земли и т. д. Другими словами, Архимед предположил все, что он хотел доказать.

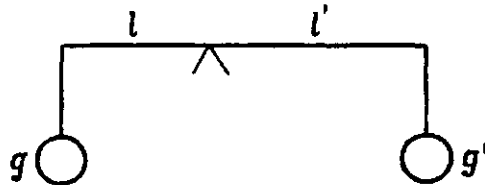


Рис. 2.

Он не вывел этого из принципа достаточного основания. Для того чтобы сделать это, он должен был знать, какие в мире существуют основания. В мире существует множество других возможных асимметрий, которых мы не знаем. Это порочный круг. Рычаг не может двигаться, потому что он не имеет основания для того, чтобы двигаться. Но почему он не имеет основания? Потому что оно зависит только от длины плеч и размеров грузов — но тогда мы пытаемся доказать то, что выступает в качестве предпосылки. Мы имеем неопределенный опыт или идею симметрии. Если мы будем анализировать эту идею, то должны будем решить, какие факторы действительно имеют значение, но когда мы это сделаем, мы сделаем и все остальное — у нас не будет надобности в принципе достаточного основания.

Основание, почему мы верим в эти интеллигибельные принципы, является, конечно, весьма поверхностным. Многие не хотят признаться самим себе, что эта твердая вера проистекает из неопределенных аналогий с повседневным опытом. Это нежелание выразилось следующими словами: природу этих принципов очень трудно описать — мы знаем их с помощью «интуиции», некоей способности которая отличается от способности, используемой в обычной науке, и которая дает более достоверные результаты. Эти принципы могут быть очень правдоподобными, но они неприменимы; они ведут к логическому кругу доказательств, точно так же как принцип симметрии правдоподобен, но неприменим, если мы не укажем, какие качества имеют значение. Аналогия между общими утверждениями и повседневным опытом может быть только поверхностной. «Достоинство» этих интеллигибельных утверждений — другое, чем достоинство, которое проистекает из их согласия с наблюдаемыми фактами, — имеет свое происхождение в этой неопределенной аналогии с повседневным опытом. Таким образом, если мы отсечем корни декартовского дерева, то остается стремление к этим неопределенным аналогиям, для того чтобы вернуть нам чувство, чтобы мы могли понять эти общие научные принципы иначе и лучше, чем через их наблюдаемые результаты.

8. Наука в собственном смысле слова

Если мы говорим на языке, которому научились у родителей и учителей, то мы можем распознать двойную цель науки: давать технические познания и способствовать «пониманию» вселенной. Эта двойная цель стала особенно ясной, когда произошел разрыв между наукой и философией. Тогда обнаружилась невозможность достижения обеих целей посредством какой-либо одной системы мышления. Многие считали и считают, что наука может дать только техническое познание, что она имеет только некоторую техническую ценность. Для «настоящего понимания» мы

нуждаемся в философии, которая устанавливает интеллигибельные и правдоподобные принципы, но не дает точного практического знания. Это и есть тот путь, на котором наука и философия разошлись. Нет, однако, никакого сомнения в том, что философия тоже служит практической цели. В то время как наука дает методы изобретения физических и химических приспособлений, философия дает методы, с помощью которых можно направлять поведение людей. Таким образом, философия достигает своей практической цели даже еще более прямым путем, чем собственно наука.

То, что я имею в виду под «собственно наукой», представляет собой науку в стадии ее отделения от философии, как она преподается в наших обычных учебных заведениях. С этой «научной точки зрения» наука должна содержать как можно меньше философии. Преподаватель начинает с наблюдаемых фактов и затем устанавливает принципы, из которых эти факты могут быть выведены. «Собственно наука» не интересуется вопросом, являются ли эти принципы «интеллигибельными». Преподаватель, однако, заинтересован в том, чтобы из небольшого числа таких принципов «средней степени общности» можно было вывести большое число наблюдаемых фактов. Это называется принципом экономии в науке. Установление небольшого числа принципов, из которых можно вывести как можно больше фактов, есть некоего рода проблема минимума. Мечтой науки является выведение всех фактов из одного принципа. Этого, вероятно, достичь нельзя. Но если этого нельзя достичь в пределах науки, то можно себе представить, что принципы науки могут быть выведены из одного главного принципа в философии, где не требуется полного согласия с наблюдаемыми фактами. Выведение всего из воды, огня, воздуха, как пытались сделать некоторые из древних греков, есть предельный случай экономии.

Очень важно всегда помнить, что наука не является совокупностью фактов. Никакая наука не строится таким образом. Совокупность утверждений, говорящих о том, в какие дни шел снег в Лос-Анже-

лесе, не является наукой. Мы будем иметь науку только тогда, когда сможем установить принципы, из которых вытекает, в какие дни будет идти снег в Лос-Анжелесе. Более того, если установленные нами принципы будут так же сложны, как и сам опыт, то в этом не будет никакой экономии и никакой «собственно науки». Очень много принципов или один очень сложный принцип значат одно и то же. Если принципы так же сложны, как и сами факты, то они не составляют науки. Простое наблюдение положений планет в небе не является наукой. Древние ученые пытались установить кривые, которые представляли бы движение планет. Одно время думали, что эти кривые — круги; позднее считали, что они — эллипсы, но это верно только в том случае, если игнорировать возмущения, вызываемые действием планет. Если же принять во внимание возмущения, то уравнения этих кривых будут очень сложными — в них будет столько членов, что они заполнят целый том в сотню страниц. Учитывать все возмущения столь же сложно, как и фиксировать все положения планет. Такое учитывание не дает нам никаких преимуществ; в этом нет также никакой науки.

Если нет небольшого числа принципов, если нет простоты, то нет и науки. Если человек говорит, что он не хочет умозрения, а только того, чтобы ему представили все факты, то он стоит лишь на точке зрения предварительной ступени науки, а не ее самой. Ученых часто упрекают в том, что они все упрощают. Это верно; нет науки без упрощения. Работа ученого и состоит в нахождении простых формул. Некоторые говорят, что ученый не помогает нам понять что-либо, потому что он всё упрощает. Но кто знает иной способ «понимания» сложных вещей, чем понимание посредством их упрощения?

После того как ученый сформулировал какую-либо простую формулу, он должен вывести из нее наблюдаемые факты. Затем он должен проверить эти следствия, чтобы убедиться, действительно ли они находятся в согласии с наблюдением. Таким образом, труд ученого состоит из трех частей:

1. Выдвижения принципов.
2. Выведения логических заключений из этих принципов для получения относящихся к ним наблюдаемых фактов.
3. Экспериментальной проверки этих наблюдаемых фактов. Эти три части осуществляются благодаря трем разным способностям человеческого духа. Экспериментальная проверка осуществляется благодаря способности наблюдать, фиксировать чувственные впечатления; вторая часть требует логического мышления, но каким образом получаем мы принципы? Это чрезвычайно спорный пункт. Многие авторы говорят «посредством индукции из наблюдаемых фактов» — действия, противоположного дедукции. Если ученый видит, что одна и та же последовательность повторяется часто, он делает заключение, что так будет всегда. Это напоминает нам рассказ о человеке, который купил лошадь и хотел приучить ее обходиться без еды. В течение тридцати дней он успешно не давал лошади есть и уже решил, что лошадь приучилась жить без еды; но на тридцать первый день лошадь подохла. «Индукция» не так проста. С ее помощью мы вряд ли можем установить какой-либо метод нахождения общих принципов, вроде принципа тяготения. Все мы знаем не вполне достоверный рассказ о том, как у Ньютона возникла мысль о теории всемирного тяготения, когда ему на голову упало яблоко. Правдив этот рассказ или не правдив, суть дела в том, что на таком основании мы не можем построить систему индукции. Для анализа науки, однако, способ получения общих принципов не имеет большого значения. Общие принципы могут прийти человеку во время сна. Способ получения их играл бы роль только в том случае, если бы нам нужно было дать социологический или психологический анализ науки. В «логике науки» в отношении общих принципов имеет значение не способ, каким мы получаем их с помощью индукции, а способ, каким мы выводим из них с помощью дедукции весь остальной состав науки. Способность, которая необходима для получе-

ния общих принципов науки, мы можем назвать во-
ображением. Мы немедленно наталкиваемся на труд-
ности индукции в самом простом случае. Допустим,
что мы изобразим результаты серии измерений
посредством серии точек на координатной сетке в ка-
кой-либо координатной системе и захотим предста-
вить эти результаты с помощью функции. Мы пред-
ставляем себе, что линия, проходящая через экспери-



Рис. 3.

ментальные точки, дол-
жна быть как можно бо-
лее гладкой. Если у нас
нет никаких сведений о
том, какой должна быть
эта дуга, то мы не найдем

ее. Точки никогда не определяют всей кривой; мы дол-
жны представить себе критерий «гладкости» (рис. 3).
Проблема индукции более подробно будет разобрана
в главе 13.

9. Наука, обыденный здравый смысл и философия

Теперь мы опишем отношение между наукой и фи-
лософией после того, как разрыв представлен нами
таким образом, что кажется несколько парадоксаль-
ным и является определенным упрощением. Он, од-
нако, направит наше внимание на основные харак-
терные черты обеих областей человеческой деятель-
ности. Принципы науки могут быть сформулированы
таким образом, что они будут очень далеки от обы-
денного здравого смысла, но проверка их с помощью
эксперимента всегда осуществляется на уровне опыта
обыденного здравого смысла. Возникает та парадок-
сальная ситуация, что философия некоторым образом
оказывается ближе к обыденному здравому смыслу,
чем наука. Философия всегда требовала близкого со-
ответствия между общими принципами и опытом
обыденного здравого смысла. Чем больше наука уг-
лублялась в теоретическую область, тем более уда-
ленными от обыденного здравого смысла становились
ее общие принципы.

Результаты наблюдений и экспериментов, которые образуют фактическую основу науки, могут быть описаны языком повседневной жизни, или, другими словами, с помощью утверждений обыденного здравого смысла. В аристотелевской и средневековой физике проводилось различие между «тяжелыми» телами, вроде осколков скал, которые падают на землю, и «легкими» телами, вроде дыма, которые поднимаются к небу. Это язык «заурядного человека». До возникновения около 1600 года новой физики этот язык обыденного здравого смысла употреблялся не только в описаниях наблюдений, но также и в формулировках общих принципов науки: «Если тело тяжелое, то оно падает». Герберт Дингл писал: «Бессмертная слава того вклада, который внес Галилей в развитие человеческой мысли, заключается в том, что он, хотя и не вполне сознательно, отказался от мира повседневного здравого смысла как философской необходимости»¹. В его теоретической системе все тела падают на землю с одинаковым ускорением. Он подготовил почву для ньютоновской системы, в которой планеты движутся согласно тем же самым законам, что и законы падающего камня, хотя опыт нашего обыденного здравого смысла, по-видимому, говорит о существенном различии между этими двумя типами движения: Само собой разумеется, что успех в науке в большой степени заключался в замене мира обыденного здравого смысла миром абстрактных символов.

Если мы хотим сформулировать общие принципы, из которых может быть выведена широкая область наблюдаемых фактов, мы должны отказаться от языка обыденного здравого смысла и пользоваться более абстрактной терминологией. Герберт Дингл заметил, что на уровне обыденного здравого смысла существует ясное различие между физикой и химией. Если же мы будем говорить на уровне современной атомной и ядерной физики, то такого различия

¹ H. Dingle, *The Nature of Scientific Philosophy*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 1949, 62, Part IV, p. 409.

больше не будет. Дингл писал: «Истина в том, что химия действительно не имеет места в строгой научной схеме... Роль, выполняемая химией в росте науки, была прагматической, эвристической»¹. Коротко говоря, язык химии теперь является языком обыденного здравого смысла, а не научным языком.

Эти замечания имеют большое значение для понимания современной науки. Многие термины, которые раньше употреблялись в научном языке, не могут больше употребляться, потому что общие принципы современной науки теперь требуют терминов, гораздо более отдаленных от языка обыденного здравого смысла. Понятия «материя», «сознание», «причина и действие» и им подобные являются теперь терминами только обыденного здравого смысла и не имеют места в строго научном рассуждении. Для того чтобы осознать эту эволюцию, мы должны сравнить физику XX века с ее предшественницей в XVIII и XIX веках.

Ньютоновская механика употребляла термины «масса», «сила», «положение», «скорость» в смысле, который, по-видимому, был ближе к их употреблению на языке обыденного здравого смысла. В теории тяготения Эйнштейна «координаты события» или «тензорные потенциалы тяготения» являются терминами, связанными с выражениями языка нашего обыденного здравого смысла длинной цепью объяснений. Эта длинная цепь объяснений еще более необходима в случае связи таких терминов квантовой механики, как «волновая функция», «координатная матрица» и т. д., с выражениями обыденного здравого смысла. В лекции, прочитанной в Оксфорде в 1933 году, Эйнштейн говорил о «постоянно увеличивающейся брешу между основными понятиями и законами, с одной стороны, и следствиями, которые должны быть приведены в соответствие, и нашим опытом — с другой, брешу, которая все больше и больше расширяется по

¹ H. Dingle, *The Nature of Scientific Philosophy*, Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 1949, 62, Part IV, p. 409.

мере развития унификации логической структуры, то есть по мере сокращения числа логически независимых элементов, необходимых для основания всей системы»¹.

Наши наблюдения и эксперименты, однако, неизменно описывались языком обыденного здравого смысла, несмотря на все изменения в принципах. Таким образом, наука все больше и больше привыкала к употреблению разных языков в одной и той же картине вселенной, и для ученого стало важной задачей увязать эти разные языки в одну связную систему. Герберт Дингл правильно сказал: «Если я подчеркиваю необходимость освобождения научной философии от вторжения в нее понятий обыденного здравого смысла, то это не для того, чтобы обесценить обыденный здравый смысл, а потому, что теперь в этом смешении заключается большая опасность»².

Благодаря этому смешению часто бывает, что если философ и ученый спорят об общих принципах, то философ говорит, что принципы ученого темны и непонятны. Здесь и заключается основное различие между двумя концами нашей цели. В ее конце, который представляет науку, согласие с обыденным здравым смыслом достигается на уровне непосредственных наблюдений, тогда как в конце, который представляет философию, согласие с обыденным здравым смыслом обнаруживается на уровне самих абстрактных принципов. Французский философ Эдуард Леруа описал это очень наглядно. Наука начинается с обыденного здравого смысла; и из обобщений с помощью индукции или воображения выводится наука; но сами выведенные принципы могут быть очень далеки от обыденного здравого смысла. Связать эти принципы прямо с обыденным здравым смыслом — и есть работа, выполняемая философами. Мы можем начертить диаграмму (рис. 4). Эта диаграмма показывает, что от науки к обыденному здравому смыслу ведут

¹ A. Einstein, *On the Methods of Theoretical Physics*.

² H. Dingle, *The Nature of Scientific Philosophy*, *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 1949, 62, Part IV, p. 409.

два пути. Научный путь (посредством математического вывода и экспериментальной проверки) часто бывает очень долгим. Поэтому человек требует такого пути, на котором эти принципы становились бы непосредственно правдоподобными; это означает путь, на котором они могут быть связаны с обыденным здравым смыслом посредством «короткой части окружности». Благодаря философским истолкованиям научные принципы непосредственно связываются с обыденным здравым смыслом¹.

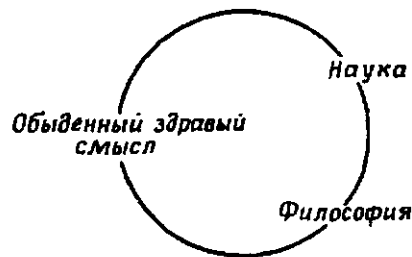


Рис. 4.

Я не сказал бы, что эта диаграмма очень точна, но она действительно дает идею структуры человеческого сознания. Философия вводит в науку нечто такое, чем ученый «как таковой» не интересуется. Само собой разумеется, что ученый — тоже человек и имеет свои слабости, если можно назвать слабостью само это требование, чтобы общие принципы науки были правдоподобными. Студенты всегда благодарят преподавателя физики за всякий намек, который делает законы более правдоподобными. Так что мы можем сказать, что в этом каждый заинтересован. Ученый «как таковой» не слишком об этом заботится, но это показывает тот путь, каким люди вообще рационализируют науку, как они взирают на науку.

¹ Ph. Frank, *Metaphysical Interpretations of Science*, Sect. 4, «Science and Common Sense», *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 1.

Глава 3
ГЕОМЕТРИЯ — ПРИМЕР НАУКИ

1. Геометрия как идеал философии

«Метафизика всегда была обезьяной математики», — писал в 1891 году Пирс. Хорошо также известно, что Платон не допускал желающего изучать философию в Академию, если он не был подготовлен по геометрии. Пирс объяснил это требование Платона следующим образом: «Геометрия внушает идею доказательной системы абсолютно достоверных философских принципов, и идеи метафизиков во все времена брались в большей их части из математики»¹. Когда на примере неевклидовой геометрии было доказано, что даже аксиомы геометрии не являются самоочевидными и «вечно справедливыми», вера в самоочевидность метафизических принципов была весьма сильно подорвана. Пирс писал: «Метафизические аксиомы являются подражанием геометрическим аксиомам; и теперь, когда последние выброшены за борт, несомненно, и первые будут отправлены вслед за ними»².

Безусловно, что та высокая степень достоверности, которая была достигнута в геометрии, поддерживала надежду, что такая же достоверность может быть до-

¹ В его статье «The Architecture of Theories» («The Monist», 1891).

² Там же.

стигнута и в других отраслях знания и, кроме того, в синтезе всего знания — в философии. Декарт в своей знаменитой работе «Рассуждение о методе», с которой был связан один из основных этапов при зарождении философии нового времени (после 1600 года), следующим образом описал роль, которую он отводит геометрии как образцу, которому должна следовать философия:

«Длинные цепи доводов, совершенно простых и доступных, коими имеют обыкновение пользоваться геометры в своих труднейших доказательствах, натолкнули меня на мысль, что все доступное человеческому познанию одинаково вытекает одно из другого. Остерегаясь, таким образом, принимать за истинное то, что таковым не является, и всегда соблюдая должный порядок в выводах, можно убедиться, что нет ничего ни столь далекого, чего нельзя было бы достичь, ни столь сокровенного, чего нельзя было бы открыть»¹.

Поскольку процедура выводов в геометрии привела к более удовлетворительным результатам, чем в какой-либо другой области науки, Декарт сделал обобщения из нее и выдвинул четыре «правила логики», которыми следует руководствоваться при нахождении истины. Он формулирует эти правила следующим образом:

«Первое — никогда не принимать за истинное ничего, что я не познал бы таковыми с очевидностью, иначе говоря, тщательно избегать опрометчивости и предвзятости и включать в свои суждения только то, что представляется моему уму столь ясно и столь отчетливо, что не дает мне никакого повода подвергать их сомнению»².

Знать что-либо «ясно и отчетливо» было названо картезианским критерием истины. По существу, этот критерий не слишком отличается от требования Аристотеля, чтобы общие принципы науки были интел-

¹ Р. Декарт, Избранные произведения, Госполитиздат, 1950, стр. 272—273.

² Там же, стр. 272.

лигибельными или «познаваемы по своей природе» в противоположность неопределенным чувственным впечатлениям, которые «познаваемы для нас», но «темны по природе» (гл. 1).

Декарт говорит далее, что второе правило заключается в том, чтобы разделять каждое подлежащее исследованию затруднение на столько частей, на сколько возможно и на сколько необходимо для его надлежащего разрешения. Это «второе правило» Декарта является, очевидно, тоже обобщением действительного употребляемого метода в геометрии. Если последний заключается в том, чтобы, исходя из аксиом геометрии, доказывать теорему, что сумма углов треугольника равна 180° , то Декарт предлагает идти в доказательстве небольшими шагами, каждый из которых является простым логическим заключением, которое кажется истинным даже самому необразованному уму. Это продвижение в доказательстве небольшими шагами и есть то, чего Декарт требует в своем втором правиле.

Характерная черта геометрии, благодаря которой она стала образцом для всех наук и, более того, для философии, может быть просто сформулирована следующим образом: в геометрии существуют два типа утверждений — аксиомы и теоремы. Только последние могут доказываться посредством рассуждения; истинность аксиом должна признаваться не с помощью рассуждения, а с помощью непосредственной интуиции, очами ума или чем угодно, что только можно назвать этой способностью. Эта концепция геометрии сделала ее образцом для философов на все времена. Еще на заре философии нового времени Паскаль говорил:

«Наше знание первых принципов, таких, как *пространство, время, движение, число*, столь же достоверно, как и любое знание, получаемое нами посредством рассуждения. Само собой разумеется, это знание, которое дают нам наши сердца и инстинкты, необходимо является основой, на которой наш разум строит свои заключения... Если бы наш разум отказывался соглашаться с первыми принципами тогда,

когда наше сердце не дает доказательств, то это требование было бы столь же смешным, как если бы наше сердце отказывалось соглашаться со всеми доказательствами тогда, когда они не подкреплены, кроме того, и чувством»¹.

Какими бы широкими ни были бреши между разными философскими системами, все они имеют два общих для них верования. Во-первых, существуют высказывания о наблюдаемых фактах, которые мы знаем с достоверностью, хотя (или, быть может, потому что) они не основаны на индукции из чувственных наблюдений. Во-вторых, существование таких предложений «доказывается» примером математических предложений, ибо они известны с достоверностью, а эта достоверность не основывается на эмпирических фактах. Существует большое различие между немецким философом-идеалистом Иммануилом Кантом и французским рационалистом Декартом. Кант, однако, даже еще более настойчиво, чем Декарт или Паскаль, подчеркивал то, что вера в возможность «собственно философии», то есть «метафизики», в конечном счете основывается на примере геометрии, которая одним своим существованием доказывает возможность интеллигибельных принципов. Чтобы понять утверждение Канта, мы должны только отметить то, что под «синтетическим суждением а priori» он имел в виду то, что мы называем утверждением о наблюдаемых фактах, которые воспринимаются очами разума без настоящего чувственного наблюдения, но которые могут и должны быть научно проверены действительными чувственными наблюдениями. В своей книге «Пролегомены ко всякой будущей метафизике» Кант писал:

«По счастью, хотя мы не можем признать *действительность* метафизики как науки, однако мы можем с достоверностью сказать, что известные чисто синтетические познания а priori действительно нам даны, именно *чистая математика и чистая естественная*

¹ B. P a s c a l, The Difference Between the Mathematical and the Intuitive Mind, Sect. 1, p. 1.

наука, потому что обе содержат положения, частью аподиктически достоверные из одного разума, частью же такие, которые, по общему признанию, хотя берутся и из опыта, однако независимы от опыта. Мы имеем, таким образом, некоторое, по крайней мере *неоспариваемое*, синтетическое познание *a priori* и должны спрашивать не о том, возможно ли оно (потому что оно действительно), а только о том, как оно возможно»¹.

Если мы учтем это общее мнение представителей ведущих философских школ, то будет, по-видимому, целесообразно исследовать геометрию с чисто научной точки зрения и установить, действительно ли геометрия состоит, с одной стороны, из аксиом, которые определяются «внутренней интуицией», и, с другой стороны, из теорем, которые логически выводятся из них. По существу, в течение всего XIX века это было общим мнением среди математиков. Мы можем убедиться в этом, заглянув в любой обычный учебник геометрии. Мы можем взять, например, работу Бимэна и Смита (W. W. Bemann and D. E. Smith, *New Plane and Solid Geometry*) 1899 года. Мы читаем: «Существует несколько геометрических положений, настолько очевидных, что их истинность может рассматриваться как нечто само собой разумеющееся». Авторы, как и Евклид, различают два типа таких «очевидных предложений» — аксиомы и постулаты. Вся глубокомысленная философская терминология Аристотеля и Канта, предикаты, «интеллигибельные по их природе» и «синтетические *a priori*», появляются в этом учебнике под весьма безобидными обозначениями «очевидные» и «могущие рассматриваться как само собой разумеющиеся».

Около 1900 года развилась новая концепция геометрии, которая лишила «философию в ее изолированном состоянии» («метафизику») ее любимого образца и сделала возможным обновление науки и философии. Это изменение в концепции геометрии фактически оказалось решающим в вопросе об отношении

¹ И. Кант, *Пролегомены*, 1934, стр. 134.

между наукой и философией. Не случайно, что приблизительно в это же время произошли огромные перемены в физике — установление новых теорий: теории относительности и квантовой теории, — которые потребовали основательного пересмотра наших традиционных представлений о науке и философии.

2. Интеллигибельные принципы и наблюдаемые факты в геометрии

Мы теперь рассмотрим переход от традиционной концепции XIX века, в которой наука увенчивалась крышей «изолированной философии», к концепции XX века, к переходу от роли аксиом как интеллигибельных принципов к их роли в XX веке. Различные точки зрения на науку могут характеризоваться тем, какую роль они приписывают чувственному наблюдению, логическому рассуждению и творческому воображению. Для того чтобы понять это по отношению ко всем наукам, лучше всего постараться достичь полного понимания какой-либо одной отдельной науки. В качестве примера возьмем *геометрию на плоскости* (планиметрию). Существует старинная поговорка: «Если вы понимаете один листик травы, то вы понимаете и всю вселенную». Таким образом, если мы поймем структуру науки в планиметрии, то мы уже достигнем многого в понимании структуры и в других науках.

Целесообразно начать с области, в которой вы можете, по-видимому, «доказать» очень многое. В геометрии никто не будет оспаривать большой роли логического доказательства. Если мы поймем, какую роль играет в геометрии логическое доказательство, то поймем и в целом ту роль, которую оно играет в науке вообще. Возникает следующий вопрос: как мы «доказываем» в геометрии факты, которые могут быть проверены чувственным наблюдением? Мы начинаем с некоторых «аксиом», о которых обычно говорят, что они являются самоочевидными положениями. Затем мы стараемся из этих аксиом посред-

ством логических умозаключений вывести другие положения, называемые «теоремами». В геометрии на самой элементарной стадии обучения учащийся наталкивается на различие между интеллигибельными принципами (аксиомами) и наблюдаемыми фактами — и ему не нужно для этого читать Аристотеля. При обычном изучении геометрии создается представление, что между тем, что может быть доказано, и тем, что может быть наблюдаемо в эксперименте, имеется определенное согласие. Например, рассмотрим треугольник (рис. 5).

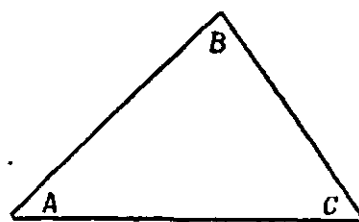


Рис. 5.

Во всяком треугольнике $A + B + C = 180^\circ$. Учащийся учится «доказывать» это. Затем он берет транспортир, измеряет сумму углов, и, если это ему удастся, сумма будет близка к 180° . У него создается впечатление, что между логическим мышлением и природой имеется определенное согласие. На самом же деле такое представление создается традиционным методом преподавания геометрии. Если учащийся однажды получил это представление при изучении геометрии, то он с этим же представлением приступает и к изучению физики. В последней он изучает некоторые доказательства, в которых логические умозаключения и результаты экспериментов так перемешаны, что даже способный студент вряд ли разберется в этом. Одна теорема является предположением, а другая выводится из нее, но первая столь же недостоверна, как и вторая. Если это объясняется правильно, то не получается никакой путаницы. В геометрии легче выделить с самого начала, что может быть доказано, а что не может. Легко видеть различие между тем, что наблюдается и что доказывается. А что представляет собой интеллигибельный принцип? Все это мы можем лучше узнать из геометрии.

Очень часто положение само по себе не кажется интеллигибельным или самоочевидным, но какой-

либо его королларий выглядит очень правдоподобным и даже самоочевидным. С первого взгляда положение, что сумма углов треугольника равна 180° , не выглядит очень убедительным, но оно может быть выражено в другой форме, придающей ему большую правдоподобность. Если четырехугольник $ABCD$ (рис. 6) разделен диагональю BC на два треугольника и если в каждом из этих треугольников сумма углов равна 180° , то сумма четырех углов четырехугольника равна 360° . Теперь мы можем поставить задачу, в которой A , B , C и D равны. Другими словами, $A = B = C = D$. Тогда каждый угол является

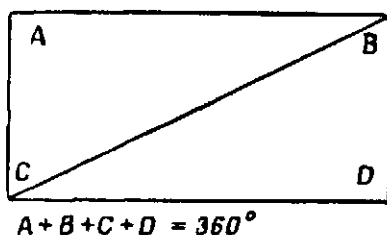


Рис. 6.

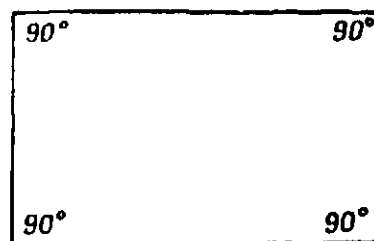


Рис. 7.

прямым и мы имеем прямоугольник (рис. 7). Следовательно, из положения, что «сумма углов треугольника равна 180° », следует, что мы можем построить прямоугольники. Однако существование прямоугольников является для нас весьма правдоподобным. Мы не склонны верить, что прямоугольники или квадраты не могут существовать. Существование прямоугольников делает возможным построение кирпичной стены без брешей. Без прямоугольников мы не могли бы строить нашим обычным способом — и весь наш образ жизни был бы другим. Мы видим, что теорема о сумме углов в треугольнике очень тесно связана с нашей технической цивилизацией.

С одной стороны, у нас имеется представление что эти законы геометрии выводятся логическим способом; с другой стороны, они кажутся законами технического «умения». Это придает силу идее о том, что люди должны действовать способом, который мо-

жет быть выведен из интеллигибельных принципов. Вера в то, что мы можем вывести эмпирические факты из интеллигибельных принципов, является важной частью структуры наших идей. Очень важно исследовать, в какой мере это верно или неверно в геометрии. Без аксиом нет геометрии; все в геометрии должно начинаться с аксиом. Но очень мало места в учебниках геометрии отводится вопросу: каким образом мы знаем, что аксиомы истинны? Этот вопрос не относится к математике и не рассматривается в каких-либо других известных отраслях науки. Многие преподаватели математики отваживались утверждать, что этот вопрос не имеет смысла. С чисто математической точки зрения это верно, поскольку не существует математического метода рассмотрения его. Но, как мы увидим ниже, он может быть рассмотрен другим способом.

3. Декарт, Милль и Кант

Мы рассмотрим три воззрения на основания геометрии. Одно восходит к Платону и Аристотелю — к идее интеллигибельных принципов. Другими словами, мы можем как бы интуитивно (*quasi-intuitively*), «очами разума» видеть, что аксиомы истинны. Возможно, лучше всех это выражено Декартом, французским математиком и философом. По его мнению, положение, что некоторые принципы являются самоочевидными, значит, что если вы понимаете их хорошо, то вы также понимаете, что они истинны. Он аргументировал это положение так: «Я могу доказать свойства (представить себе треугольник), которые окажутся действительно истинными (посредством наблюдения); из этого следует, что они проистекают из сущности треугольника. Мой разум должен быть способен уловить эту сущность. Иначе я не мог бы доказать эти свойства». Это утверждение принадлежит к той философской школе, которая называется «рационализмом»; она считает, что с помощью силы разума можно проникнуть, например, в сущность треугольника. Декарт писал:

«Я раскрываю бесчисленные частности, касающиеся фигур, чисел, движения и тому подобного, которые настолько очевидно истинны и настолько находятся в согласии с моей природой, что, когда я теперь раскрываю их, кажется, что я не столько узнаю нечто новое, сколько вспоминаю то, что было раньше в моем уме, но на что я до этого времени не обращал своего внимания...»

В противоположность декартовскому «рационализму» представители школы «эмпиризма» утверждают, что не существует принципов, справедливость которых может быть подтверждена одной только силой разума. Согласно философу-эмпиристу Джону Стюарту Миллю, аксиомы являются эмпирическими положениями, такими же, как и всякие другие, — они отличаются от других только тем, что они проще других и имеют более широкую основу.

Рационалист относится к треугольнику, как к объекту нашего воображения, в то время как эмпирист относится к нему, как к физическому объекту. Оба эти аспекта треугольника некоторым образом законны, иначе мы никогда не смогли бы проверять принципы фактами. Двести лет спустя после Декарта Джон Стюарт Милль писал в своей книге «Система логики» в 1843 году:

«Особенная точность, какую приписывают первым началам геометрии, оказывается призрачной... Когда говорят, что заключения геометрии суть истины необходимые, эта необходимость их состоит на самом деле только в том, что они с точностью вытекают из тех предположений, из которых они выводятся. А эти предположения не только не необходимы, но даже и не истинны; они преднамеренно более или менее уклоняются от истины... Остается рассмотреть, на чем основана наша уверенность в аксиомах, на какие доказательства они опираются. Я утверждаю, что это — истины опытные, обобщения из наблюдения. Предложение «две прямые линии не могут заключать пространства» (согласно евклидовой формулировке этой аксиомы, «две точки определяют одну и только одну

прямую линию») является индукцией из очевидных свидетельств наших чувств»¹.

Мы видим, что аксиомы геометрии, которые рассматривались как самые яркие примеры аристотелевских интеллигибельных принципов, согласно эмпирику Миллю, являются результатами чувственных наблюдений. С одной стороны, выводимые из принципов заключения являются продуктами нашего разума. Кажется, что идея рационализма и идея эмпиризма относятся к совершенно разным вещам, причем они обе существуют. Какова связь между треугольником, представляемым с помощью воображения, и физическим объектом? Рационалист думает, что он может найти свойства треугольника, «взирая на треугольник очами своего ума». Но его ум может, очевидно, взирать только на представляемый треугольник, а не на физический треугольник, принадлежащий миру материальных объектов. С другой стороны, эмпирик думает, что он раскрывает свойства треугольника, воспринимая физический треугольник своими органами чувств. Как же в таком случае можем мы понять утверждение, что геометрические предложения более достоверны, чем любой результат чувственных наблюдений?

Иммануил Кант нашел выход из этой дилеммы, который, конечно, должен быть признан остроумным. Он утверждал, что наши органы чувств, наши глаза, не видят действительного треугольника, существующего во внешнем мире. Этот действительный треугольник, «вещь в себе», как Кант назвал ее, недоступен нашим органам чувств. Если мы смотрим на треугольник, то видим его таким, каким он определяется свойствами нашего рассудка. То, что мы на нашем обычном языке называем «видимым треугольником», есть результат взаимодействия действительного треугольника и нашего рассудка. Наш рассудок ответствен за ту «форму», сквозь которую мы видим каждый внешний объект. Это значит, что то, что эмпирики называют «реальным треугольником»,

¹ Дж. Ст. Милль, Система логики силлогической и индуктивной, 1914, стр. 203, 204, 207.

воспринимаемым нашими чувствами, на самом деле есть «представляемый треугольник». Поэтому не удивительно, что очи нашего рассудка могут видеть его свойства. Геометрические свойства на самом деле являются свойствами представляемого треугольника, в то время как свойства действительного треугольника неизвестны или, может быть, даже и не существуют. Согласно Канту, познание свойств нашим рассудком возможно только в том случае, если мы предположим, что эти свойства не являются свойствами действительного треугольника. Он утверждал, что с помощью чувственной интуиции мы можем знать объекты так, как они *являются* нам (нашим чувствам), а не так, как они существуют в себе, и это предположение абсолютно необходимо, если синтетические суждения а priori возможны.

Этой новой идее Кантом и его школой было дано название «критического идеализма». Слово «идеализм» обозначает взгляд на мир, согласно которому результаты наших чувственных наблюдений не являются образами действительных объектов. Эти объекты могут не существовать совсем или могут сильно отличаться от того, какими они являются нам. Первый взгляд, отрицающий реальность мира нашего опыта, называется просто «идеализмом». Согласно кантовскому взгляду, внешний мир существует в себе, но нам представляется в виде, который определяется природой нашего рассудка. Этот взгляд называется «критическим идеализмом».

В тесном союзе с «собственно наукой» в XX веке была разработана новая концепция роли геометрических аксиом, концепция, которая впитала в себя некоторые элементы рационализма, эмпиризма и критического идеализма и вместе с тем в ней предпринята попытка устранить, насколько возможно, излишние понятия.

4. Аксиомы и теоремы

Рассмотрим традиционное доказательство теорем геометрии: например, теоремы, что сумма углов треугольника равна двум прямым углам. Мы уви-

дим, что это тесно связано с положением, что существуют подобные треугольники — другими словами, треугольники с одинаковыми углами, но сторонами разной длины. Идея о существовании подобных треугольников является одной из основоположных идей, с которыми мы подходим к внешнему миру. Она объясняет возможность существования фигур, которые имеют одну и ту же форму, но разные размеры. На этом основывается наша вера в то, что истинное в малых масштабах может быть распространено и на большие масштабы, и наоборот. Мы верим в это весьма наивным образом. Едва ли у кого из учащих может возникнуть сомнение в том, что доказываемая учителем истина о треугольниках, нарисованных на классной доске, является также истиной и о треугольниках больших размеров, не уместящихся на доске.

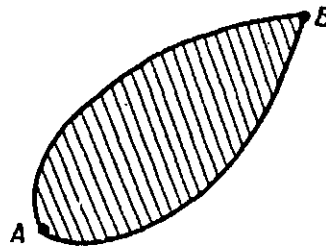


Рис. 8.

Однако прежде, чем идти дальше, «отшлифуем» наши познания в планиметрии. Мы можем начать с аксиомы: если у нас есть две точки, A и B , и если мы имеем две прямые линии, которые соединяют эти две точки, то, на языке Евклида, «между этими двумя линиями нет никакого пространства». Другими словами, если имеются две точки, A и B (рис. 8), то существует только одна прямая линия, соединяющая их. Это одна из первых аксиом в евклидовой геометрии.

Но что такое точка? И что такое прямая линия? В обычной геометрии эти понятия определяются неявно. Точка есть то, что не имеет частей. С точки зрения интуиции это имеет некоторый смысл, но его трудно использовать. К этим вопросам мы вернемся позднее. А сейчас у нас есть только неясная идея точек и линий.

Однако мы можем сразу же поставить вопрос: является ли аксиома, которую мы только формулировали, самоочевидной или она такой не является?

В этом виде она не является самоочевидной, потому что она значит следующее: в точке *A* две расходящиеся прямые линии никогда снова не встретятся (рис. 9). Если вдуматься, то на первый взгляд покажется, что это интуитивно ясно, но как далеко идет наше воображение в представлении прямых линий? Я сказал бы, что едва на десять футов. Интуитивное представление, безусловно, не идет очень далеко. То, чем мы пользуемся, на самом деле является выводом неувеличивающегося

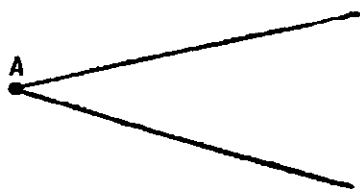


Рис. 9.

расстояния между сегментами линий. Мы воображаем, что расстояние между ними будет увеличиваться. Но это и есть настоящий порочный круг; это значит сказать то же самое — что расходящиеся линии никогда не встретятся. Если же мы проследим две «прямые линии» на земной поверхности, то

они, безусловно, встретятся на другой стороне Земли. Когда думали, что Земля — плоскость, положение было ясным; но теперь мы знаем, что это иллюзия, что нет способа отличить маленький отрезок сферы большого радиуса от плоскости. Так что того, что случится дальше и дальше на этих двух расходящихся «прямых линиях», мы на самом деле не знаем; не существует интуитивного свидетельства, что они никогда не встретятся снова. Наша аксиома в таком случае является гипотезой о проведении прямых линий.

С этим связано еще одно затруднение, более сложное: могут сказать, что линия, которая возвращается к самой себе, не есть прямая линия, но если мы определим прямую линию как линию, которая никогда не встречает самое себя, то получим тавтологическое утверждение — прямая линия есть прямая линия. Являются ли аксиомы только определениями? Если они являются только определениями, то мы никогда не выведем из них физические факты. Таким образом, существуют два аспекта геометрических

аксиом — «чистые определения» и «гипотезы о физических объектах». Мы видим, что уже с первой аксиомой связаны многие затруднения.

Отметим, что из этой первой аксиомы мы можем вывести, что две прямые линии могут иметь или одну общую точку, или ни одной.

Перейдем теперь к понятию «конгруэнтность». Рассмотрим прямую линию g , содержащую две точки, A и B , и другую прямую линию g' , содержащую точки A' и B' . Что мы имеем в виду, когда говорим, что два расстояния, AB и $A'B'$, «конгруэнтны»? О двух сегментах говорят, что они конгруэнтны, если их можно совместить. Это предполагает, что мы знаем, что подразумевается под транспозицией — что при движении, грубо говоря, два расстояния не изменяют своей величины, что значит, что они остаются конгруэнтными. Опять создается порочный круг. Однако мы имеем определенную идею жесткого тела; мы можем определить его через его физические свойства: упругость, твердость и т. д. В таком случае мы можем определить конгруэнтность через перемещение жесткого тела. Два сегмента «конгруэнтны», если их можно совместить, приводя в движение как «жесткие» стержни.

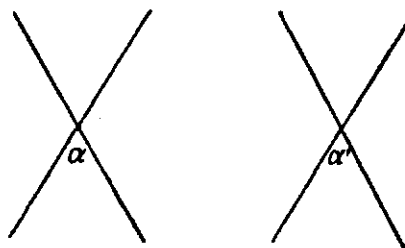


Рис. 10.

У нас есть также понятие конгруэнтных углов. Две прямые линии определяют угол в следующих фигурах (рис. 10).

Углы конгруэнтны, если прямые линии, определяющие их, могут быть совмещены. Два треугольника определяются как конгруэнтные, если все их стороны и углы конгруэнтны; тогда эти треугольники могут быть совмещены.

Углы конгруэнтны, если прямые линии, определяющие их, могут быть совмещены. Два треугольника определяются как конгруэнтные, если все их стороны и углы конгруэнтны; тогда эти треугольники могут быть совмещены.

Таким образом, мы можем сформулировать первую теорему конгруэнтности. Пусть ABC и $A'B'C'$ (рис. 11) будут двумя треугольниками.

Пусть $AB \equiv A'B'$; угол CAB (α) \equiv с углом $C'A'B'$ и CBA (β) \equiv с углом $C'B'A'$, где знак \equiv обозначает «конгруэнтен». Это значит, что мы могли бы наложить треугольник ABC на треугольник $A'B'C'$ так, чтобы отрезок AB совместился с отрезком $A'B'$, AC — с линией $A'C'$, а линия BC — с линией $B'C'$. Но мы знаем, что линии AC и BC пересекаются в C . Линии $A'C'$ и $B'C'$ пересекаются в C' . Но C должно совмещаться с C' , поскольку наша первая аксиома утверждает, что две прямые линии могут иметь только

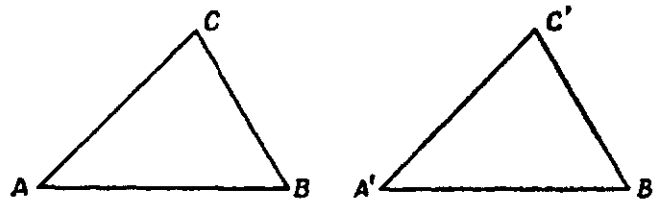


Рис. 11.

или одну общую точку, или ни одной. Таким образом, треугольник $ABC \equiv$ с треугольником $A'B'C'$. Это значит, что мы могли бы наложить треугольник ABC так, чтобы совместить его с треугольником $A'B'C'$. Следовательно, если $AB \equiv$ с $A'B'$ и $\alpha \equiv \alpha'$, $\beta \equiv \beta'$, то треугольники конгруэнтны. Это первая теорема конгруэнтности.

5. Евклидова аксиома параллельных линий

Теперь мы гораздо ближе к тому, чтобы доказать, что сумма углов треугольника равна двум прямым углам, но сначала мы должны доказать важную теорему об условиях, при которых две прямые линии не пересекаются. Возьмем прямую линию h , которая пересекается в точке A другой прямой линией g под углом α . Затем допустим, что h также пересекается в другой точке B прямой линией g' также под углом α (рис. 12). Мы хотим доказать, что две прямые линии g и g' , начерченные таким образом, никогда не могут пересечься друг с другом. Как можно это до-

казать? Допустим, что они пересекаются справа от h в точке C . Тогда мы получаем треугольник ABC . Теперь, используя теорему, что вертикальные углы конгруэнтны (что мы не доказали), и следуя тому же самому доказательству, которое мы привели выше, видим, что налево от h также должен быть треугольник ABC' , конгруэнтный треугольнику ABC . Таким образом, если две прямые линии g и g' пересекаются

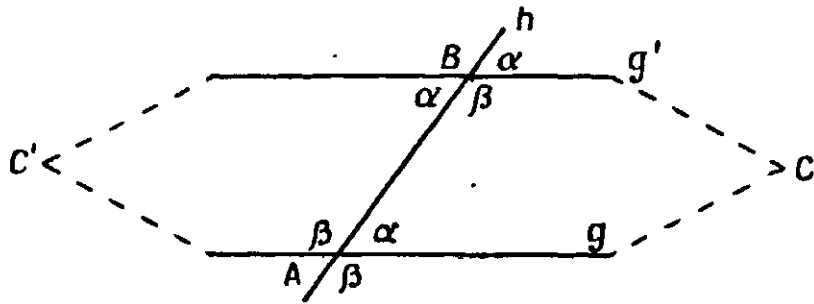


Рис. 12.

на одной стороне от h , то они должны также пересечься и на другой стороне; но это невозможно, потому что тогда были бы две точки C и C' , соединенные двумя прямыми линиями g и g' ; следовательно, прямые линии g и g' никогда не смогут пересечься друг с другом.

Как мы можем доказать, что сумма углов треугольника равна 180° ? Заметим, что вышеприведенное доказательство не говорит, что *только* тогда, когда две линии g и g' пересекают линию h под одним и тем же углом α , эти линии никогда не пересекутся. Линия g' может пересекать линию h также и под каким-либо углом α' (не равным углу α , под которым линия g пересекает линию h), и все же g и g' могут никогда не пересечься. Однако для того, чтобы получить теорему о сумме углов треугольника, мы должны воспользоваться допущением, что *только* в том случае, когда линии g и g' пересекают линию h под одним и тем же углом α , они никогда не пересекутся (рис. 13). В таком случае мы говорим,

что g' «параллельна» g . Наше допущение называется «евклидовой аксиомой», или «аксиомой о параллельных линиях». Это подтверждает, что через точку B , не лежащую на прямой g , проходит одна

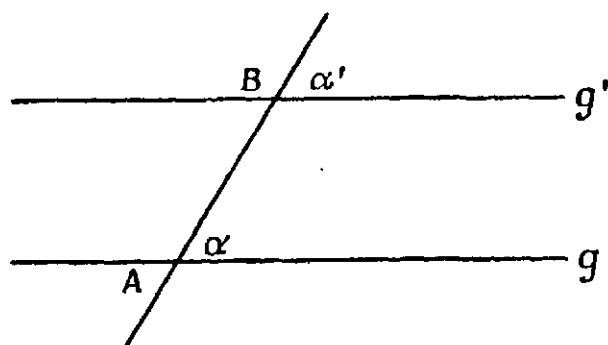


Рис. 13.

и только одна прямая линия g' , «параллельная» g . Как g , так и g' пересекают h под одним и тем же углом α .

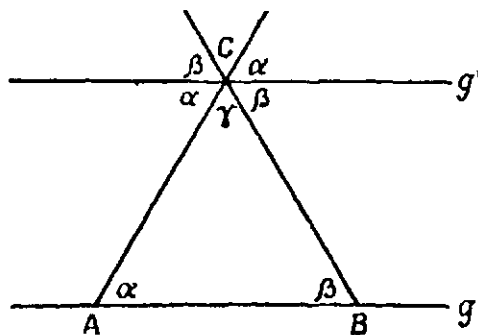


Рис. 14.

Теперь мы готовы к доказательству теоремы о сумме углов любого треугольника. Возьмем треугольник ABC и через вершину C проведем линию, параллельную основанию AB . Поскольку g параллельна g' , постольку AC пересекает g и g' под конгруэнтными углами α (рис. 14). BC пересекает g и g' под конгруэнтными углами β .

Поскольку g' есть прямая линия, постольку угол $\alpha +$ угол $\gamma +$ угол $\beta = 180^\circ$, или двум прямым углам. Но эти углы те же самые, что и в треугольнике, так что, какой бы треугольник мы ни взяли, сумма углов $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$, или двум прямым углам. Для того чтобы прийти к этому заключению, нам, очевидно, необходима аксиома Евклида. Сначала мы доказали, что если две прямые линии g и g' пересекают линию h под одним и тем же углом α , то они никогда не смогут пересечься друг с другом. Но в этом нашем доказательстве мы использовали теорему, что если две прямые линии g и g' пересекаются, то они должны пересекать поперечную линию под одним и тем же углом. Иначе может существовать линия g'' , которая пересекает h под другим углом и все же никогда не пересечется с g . Для исключения этой возможности мы должны воспользоваться евклидовой аксиомой: линия g' , пересекающая другую прямую под тем же самым углом, что и линия g , есть *единственная* линия, которая никогда не пересечется с g .

Это очень важный момент. Теорема о том, что сумма углов треугольника равна 180° , предполагает выполнение евклидовой аксиомы. Она играет особую роль для разных выводов. Мы увидим, что если эту аксиому не принять, то нарушается не только закон относительно суммы углов треугольника, но, гораздо больше того, рушатся и наши взгляды на вселенную. Я уже упомянул положение, что для каждой фигуры существуют подобные фигуры; если мы допустим евклидову аксиому, то это положение легко может быть доказано. Возьмем треугольник ABC . Через точку D на стороне AC проведем параллельную основанию AB . Если мы допустим, что аксиома о параллельных линиях истинна, то углы у основания малого треугольника CDE равны соответственно углам у основания большого треугольника ABC , как это показано на рис. 15.

Поскольку сумма углов любого треугольника равна 180° , постольку мы получаем малый треугольник CDE с теми же самыми углами, что и в большем треугольнике ABC . Эти два треугольника имеют одну

и ту же форму, потому что они имеют одни и те же углы, но отличаются друг от друга по величине. Если бы мы не знали, что аксиома о параллельных линиях истинна, или если бы мы знали, что она не истинна, мы не могли бы построить этого доказательства. Таким образом, если аксиома о параллельных линиях не верна, то мы не можем доказать существования подобных фигур. Эти два положения исключают друг друга.

Но можем ли мы доказать, что аксиома о параллельных линиях истинна? По-видимому, не можем,

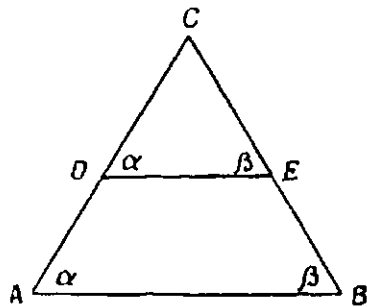


Рис. 15.

иначе она не была бы аксиомой. В таком случае логически мы можем сформулировать противоположную аксиому. Что следует из того, что углы треугольника в сумме не равны 180° ? Одно мы можем определить сразу, без сложных вычислений. Возьмем равнобедренный треугольник ABC (рис. 16).

Если сумма углов равна 180° , то угол $ABC = 60^\circ$. Теперь разделим треугольник на две равные части, опустив медиану из вершины C . Вопрос в следующем: будет ли сумма углов в каждом из малых треугольников та же, что и в большом? Ответ будет утвердительный, поскольку $60^\circ + 30^\circ + 90^\circ = 180^\circ$. Если мы теперь допустим, что сумма углов треугольника не равна 180° , то мы увидим, что сумма углов в малом треугольнике полностью отличается от суммы углов в большом треугольнике. Возьмем опять равнобедренный треугольник, где углы у основания равны 60° (рис. 17). Допустим, что сумма углов в этом треугольнике равна 160° . Тогда угол ACB равен 40° . Разделим этот треугольник на две равные части, опустив медиану на AB . Мы увидим тогда, что сумма углов в каждом из двух малых треугольников равна только 170° . Если бы мы исследовали характер изменения суммы углов треугольника, то увидели бы, что чем меньше

становится треугольник, тем больше сумма его углов приближается к 180° .

В том случае, где сумма углов треугольника меньше 180° , опишем не саму сумму углов, а разницу между этой суммой и 180° — то, что называется «дефект» (defect). Иначе говоря, дефект равен $[180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma)]$. В большом треугольнике (рис. 17) дефект равен 20° . В малом же треугольнике он равен только 10° . Между площадью треугольника и его дефектом имеется очень простое отношение. Площадь

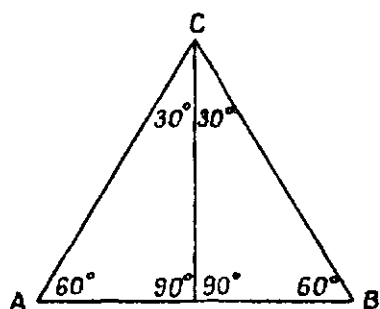


Рис. 16.

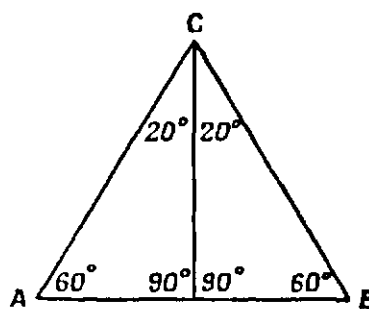


Рис. 17.

каждого из малых треугольников равна половине площади большого треугольника, а дефект каждого из малых треугольников равен половине дефекта большого треугольника. У очень маленьких треугольников дефект приближается к нулю. Очень маленький треугольник ведет себя так, как если бы аксиома Евклида была верна. Это может быть доказано весьма общим способом; здесь мы привели только несколько примеров для иллюстрации этого. Если же аксиома Евклида не верна, то не существует подобных треугольников, а малые треугольники ведут себя иначе, чем большие. По этой причине очень трудно проверить с помощью измерений, равна ли вообще сумма углов треугольника 180° .

6. Неевклидова геометрия

Теперь мы посмотрим, возможно ли обойтись без аксиомы Евклида. Чем она должна быть заменена? Если мы принимаем евклидову аксиому, то построенная

на этой аксиоме геометрия называется евклидовой геометрией. Если же мы отбросим аксиому Евклида и заменим ее другой аксиомой, то построенная на этой аксиоме геометрия называется неевклидовой.

Если отбросить аксиому Евклида, то будут две возможности. Эта аксиома утверждает, что прямая линия, которая имеет хотя бы малейшие отклонения от g' (рис. 18), с той или другой стороны пересечется с g . Одна возможность заключается в том, что

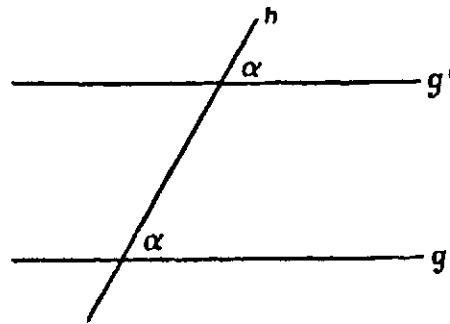


Рис. 18.

может совсем *не быть* такой линии g' , которая никогда не пересечет g . Другими словами, все существующие линии пересекаются. Имеется также возможность и того, что если прямая линия отклоняется от g' с каждой стороны на достаточно малый угол ϵ , то она не пересечет g . Иначе говоря, может быть «пучок» линий — симметричных в отношении g' и ограниченных линиями, отклоняющимися от g' на угол ϵ с каждой стороны, — которые не будут пересекаться (рис. 19). Это второй тип неевклидовой геометрии, и которую мы будем только здесь рассматривать. Посмотрим, как выглядел бы мир, если бы это утверждение заменило аксиому Евклида. Одно верно: сумма углов треугольника не была бы равна 180° .

Первый тип неевклидовой геометрии, утверждающий, что не существует параллельных линий, известен под именем «геометрии Римана»; в этой геометрии аксиома, что только одна прямая линия соединяет

две точки, также не имеет силы. Согласно другой геометрии, построенной русским математиком Лобачевским, а также, почти в то же время, венгром Больяи, существует бесконечное число прямых линий, не пересекающихся с g и заключенных в некотором

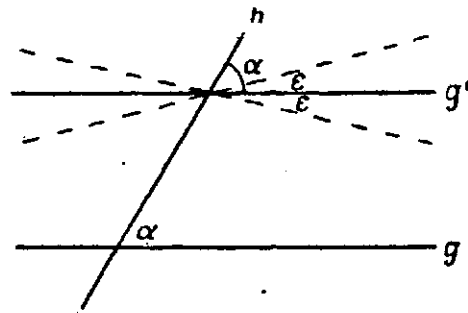


Рис. 19.

угле с прямой g' . Аксиома Евклида заменяется аксиомой Лобачевского. Заключение, выведенные из этой аксиомы, могут быть описаны следующим образом: начертим прямую линию g и точку A вне g (рис. 20). Затем проведем через A поперечную h , нормальную

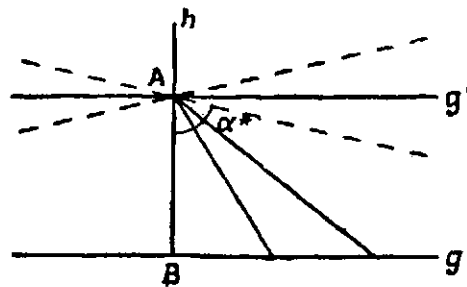


Рис. 20.

по отношению к g , и прямую линию g' под углом 90° к h . Тогда g' и g никогда не пересекутся. Если мы будем проводить прямые линии из точки A , все время увеличивая углы по отношению к h , то сначала эти линии будут пересекать линию g . В конце концов, однако (если мы исключим положение, что все пря-

мые линии пересекаются друг с другом, — «аксиому Римана»), мы приходим к линии, которая имеет некий предельный угол α^* с поперечной h и является первой линией, которая не будет пересекать g . В евклидовой геометрии $\alpha^* = 90^\circ$. Согласно же аксиоме Лобачевского, угол α^* меньше 90° . Прямая линия, которая образует этот угол с g , называется «параллельной» к g . В геометрии Лобачевского мы должны различать параллельные и непересекающиеся линии. Все линии, которые содержатся в «пучке» около g' , называются непересекающимися линиями. Только линии, определяющие границы «пучка», называются параллельными. В геометрии Лобачевского имеется параллельная линия как налево от поперечной, так и направо от нее.

Таким образом, для геометрии Лобачевского характерно, что имеется не одна параллельная линия, а две. Все линии между ними — непересекающиеся, то есть они не пересекаются с g .

Рассмотрим, что представляет собой сумма углов треугольника в геометрии Лобачевского. Если мы возьмем линию от A , делающую с линией AB угол, меньший чем α^* , то эта линия будет пересекаться с g . Мы можем, однако, взять линию, которая делает угол $\alpha = \alpha^* - \eta$ чуть меньше, чем α^* . Такая линия пересечет g под очень малым углом ϵ — настолько малым, насколько мы хотим. Таким образом, мы видим, что существуют треугольники, в которых сумма углов меньше 180° , поскольку $\alpha^* < 90^\circ$, а ϵ может быть как угодно мало. Это ясно с самого начала, если мы говорим исходя из существования дефекта. В треугольнике, который рассматривался выше, дефект равен $180^\circ - 90^\circ - (\alpha + \epsilon) = 90^\circ - (\alpha + \epsilon)$. Принимая во внимание, что мы провели из A линию, почти параллельную g , ϵ и η будут бесконечно малыми и мы можем считать дефект равным положительному числу $(90^\circ - \alpha^*)$.

Каким образом мы знаем, как велико число $(90^\circ - \alpha^*)$? Аксиома Лобачевского ясно не определяет угол α^* , который «параллельная линия» образует с данной линией. Под названием «аксиома Лобачев-

ского» на самом деле скрывается бесконечное число аксиом. Линия g' , параллельная g (рис. 21), может быть почти нормальной к AB или может иметь с AB любой угол. Для любого расстояния точки A от $g(AB)$ угол α^* может иметь произвольное значение. Любому значению α^* соответствует специальная форма

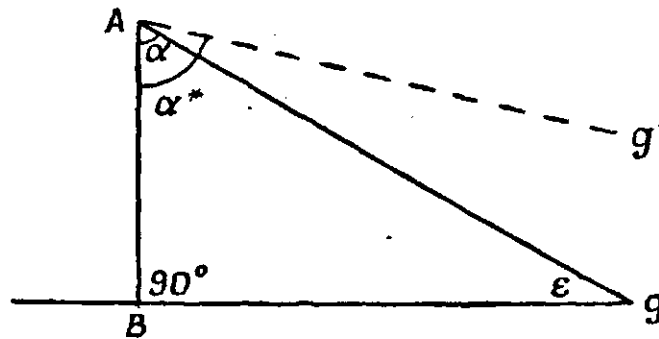


Рис. 21.

аксиомы Лобачевского. Если нам нужна геометрия, лишь немного отличающаяся от евклидовой, то мы выбираем вариант, в котором дефект $(90^\circ - \alpha^*)$ мал; если

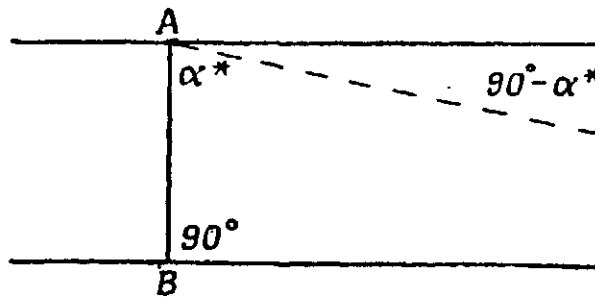


Рис. 22.

же нам нужна сильно отличающаяся от евклидовой геометрия, мы выбираем вариант, для которого дефект велик (рис. 22). Можно поставить вопрос: при какой величине дефекта треугольник начинает быть заметно

неевклидовым? Когда мы исследуем физические треугольники, сделанные из жесткого материала, вроде стали, мы никогда не замечаем, что сумма углов по измерению меньше 180° , но это ничего не доказывает. Все измеренные треугольники могут быть слишком малы для того, чтобы можно было заметить дефект. Можно только сказать, что все измеренные нами треугольники были «малыми». Можно определить понятие «малый треугольник» как малый по сравнению с определенным треугольником, принятым за единицу измерения. В качестве последнего можно избрать треугольник, в котором дефект равен 1° . Вместо того чтобы задавать значение угла α^* , можно также определить конкретный вид геометрии Лобачевского, задавая площадь «единичного треугольника». Если размер последнего сравнить с размерами Галактики, то все физические треугольники будут «малыми» и мы не заметим дефекта ни в одном из измеряемых нами треугольников. Чем больше площадь треугольника, сравниваемого с «единичным треугольником», тем больше будет дефект. Поэтому сумма углов в большом треугольнике меньше, чем в небольшом. Треугольник с площадью, очень маленькой по сравнению с площадью «единичного треугольника», имеет дефект, почти равный нулю, а сумму углов, почти равную 180° ; с увеличением дефекта сумма углов уменьшается. Если мы имеем малый треугольник, подобный большому треугольнику, то оба имеют одну и ту же сумму углов, равную 180° . Поскольку в геометрии Лобачевского большие треугольники имеют большие дефекты, чем малые треугольники, постольку большой и малый треугольники никогда не могут быть подобными. Поэтому не существуют треугольники одной и той же формы, но разных размеров. Отсюда легко сделать заключение, что не бывает геометрических фигур какого-либо рода, которые имели бы одинаковую форму, но разные размеры. Через форму определяется и величина. Треугольник с суммой углов, приближающейся к 180° , возможен только в том случае, если он имеет очень маленькую величину.

7. Справедливость предложений геометрии

Теперь мы на время оставим чисто математические рассуждения и поставим вопрос, какое существует соотношение между геометрией и опытом. То, что мы доказали до сих пор, не имеет к опыту никакого отношения. Мы только показали, что если треугольники удовлетворяют евклидовой аксиоме, то подобные треугольники существуют. Если же треугольники удовлетворяют аксиоме геометрии Лобачевского, то подобных треугольников не существует. Эти аксиомы — только условные предложения. Из них ничего нельзя вывести о свойствах физических треугольников, сделанных из дерева или железа. Если какие-либо аксиомы верны, то верны и некоторые результаты. Все, что мы принимаем в геометрии за истинное, есть только эти условные положения. Что бы ни случилось в мире, эти положения останутся верными. Чисто логические положения истинны независимо от совершающихся в мире физических событий. Это же верно и по отношению к геометрии, если мы рассматриваем ее в чисто математическом смысле. Мы можем охарактеризовать «логические положения», сказав, что они истинны по их форме, безотносительно к значению их терминов. Мы можем заменить все термины другими, а положения тем не менее останутся истинными. Самым известным примером является логический силлогизм: если Сократ — человек, а все люди смертны, то и Сократ смертен. Это утверждение остается истинным, даже если мы заменим слова «Сократ», «человек», «смертный» другими терминами. Например, если лиса — млекопитающее, а все млекопитающие — позвоночные, то и лиса — позвоночное. Все положения геометрии в конечном счете относятся к этому же роду.

В элементарных учебниках положения геометрии не являются чисто логическими построениями. Они представляют собой смесь логических и эмпирических положений. Понятие конгруэнтности, например, определяется с помощью ссылки на физическую операцию перемещения жестких тел. Однако мы

можем обратить евклидову геометрию путем переформулировки ее аксиом в систему чисто логических положений. Мы обсудим это в § 8. Пока же примем за данное, что такая «формализация геометрии» возможна, и поставим прямой вопрос: какая геометрия истинна — евклидова или неевклидова? С точки зрения математики мы не можем ответить на этот вопрос. С помощью математики, как мы видели, мы можем только доказать, что если мы допустим аксиому Евклида, то следует, что подобные треугольники существуют, а если мы ее отвергнем, то следует, что они не существуют. Однако мы не можем решить, «истинно ли» утверждение, что существуют подобные треугольники, то есть «истинна ли евклидова геометрия». С другой стороны, мы привыкли применять геометрию к физическим объектам. Необходимо тщательное исследование, чтобы понять возможность этого. Нигде во всей системе геометрии нельзя найти определения прямой линии или точки. Поскольку, однако, логические заключения не зависят от значений употребляемых в них терминов, постольку и без определения прямых линий и точек мы можем сказать, что если эти объекты имеют свойства, предполагаемые в аксиомах, то они имеют те же свойства и в теоремах. Чем бы ни были прямые линии и точки, но если мы принимаем евклидовы аксиомы, то следует, что подобные треугольники существуют, если принимаем аксиомы Лобачевского, то подобные треугольники не существуют. В таком случае возникает вопрос, как может геометрия применяться к треугольникам, сделанным из дерева или стали? Для этой цели нам, очевидно, нужна «геометрия», которая по своей структуре полностью отличалась бы от математической, геометрия формализованная, о которой мы только что говорили.

Мы отметили, что все полученные до сих пор результаты истинны, несмотря на «значение» геометрических терминов. Для того чтобы добраться до применения геометрии к физическим треугольникам, мы должны построить геометрию другого рода — такую, в которой будут учитываться значения терминов, вроде

таких, как «точка» и «прямая линия». Рудольф Карнап во введении к своей книге «Формализация логики» описал «две тенденции в современной логике».

«Одна тенденция подчеркивает форму, логическую структуру предложений и выводов, отношения между знаками и абстракциями, в отвлечении их значения. Другая — подчеркивает те самые факторы, которые исключает первая: значение, интерпретацию, отношения... совместимость или несовместимость, основанные на значении, различие между необходимой и случайной истинностью и т. д. Эти две тенденции, столь же древние, как и сама логика, и выступали под множеством наименований. Употребляя современные термины, мы можем назвать их синтаксической и семантической тенденцией соответственно»¹.

Предпринимались частые попытки построить геометрию, строго придерживаясь правил, не как логическую дисциплину, а как науку, которая имела бы дело с физическими телами, например деревянными и железными треугольниками. Замечательная попытка такого рода была предпринята выдающимся английским математиком Клиффордом, который сделал гораздо больше, чем большинство математиков, для объединения разных отраслей математики в нашу общую систему знания. Клиффорд писал в 1875 году:

«Геометрия есть физическая наука. Она имеет дело с размерами, формами вещей и расстояниями между ними... Мы будем изучать науку о формах вещей и расстояниях между ними, исходя из одного или двух очень простых и ясных наблюдений... Наблюдения, с которыми мы сталкиваемся, следующие. Первое, что вещь может быть передвинута с одного места на другое без изменения ее размера или формы. Второе это то, что можно иметь вещи одной и той же формы, но разных размеров»².

«Вещи», о которых здесь говорит Клиффорд, являются, очевидно, тем, что в физике называется

¹ R. Carnap, Formalization of Logic, Introduction.

² W. K. Clifford, The Common Sense of the Exact Sciences, 1875.

«жесткими телами». Он предполагает, что критерий, употребляемый для того, чтобы убедиться, что «вещь» жесткая, есть критерий, обычно употребляемый в экспериментальной физике. «Размер» и «форма» вещи измеряются посредством стандартного метра, находящегося в Париже, или стандартного фута, находящегося в Вашингтоне, с внесением поправок, которые предписываются законами. В таком случае с помощью этих стандартов могут быть выполнены два описанных Клиффордом наблюдения. Клиффорд продолжал:

«Применяя эти [два] наблюдения к треугольникам, мы можем доказать: а) две прямые линии не могут пересечься больше чем в одной точке; б) если две прямые проведены на плоскости так, что они совсем не пересекаются, то углы, которые они образуют с любой третьей линией, которая их пересекает, будут равны»¹.

В предшествующих параграфах (4, 5 и 6) мы показали, что из существования подобных треугольников мы можем вывести аксиому Евклида о параллельных линиях, а из этой аксиомы — теорему, что линия, проведенная так, что она пересекает две параллельные, образует с обеими равные углы. В ходе математических доказательств мы сделали эти выводы из «аксиом», не пользуясь при этом значениями геометрических терминов. Клиффорд начал с обобщенных наблюдений, которые были, конечно, утверждениями о физических фактах и выведенными из них заключениями, содержащими утверждения о свойствах физических треугольников.

В следующих двух параграфах мы рассмотрим строгое соотношение между заключениями, выведенными из аксиом без использования значений терминов, и заключениями, выведенными из утверждений о физических фактах, где каждый термин обозначает физический объект. В науке XX века «аксиомы» формулируются таким образом, что при выводе из них за-

¹ W. K. Clifford, *The Common Sense of the Exact Sciences*, 1875.

ключений не пользуются никакой информацией о значении терминов; установив эту полностью формализованную систему аксиом, выводят заключения о физических треугольниках, используя особый метод координирования чисто формальных, чисто логических заключений с утверждениями о физических объектах.

8. Формализация аксиом

Геометрия, как она трактуется в элементарных учебниках и курсах, не является чисто логической системой. Значения некоторых терминов, например «конгруэнтности», определяются посредством физических операций, таких, как перемещение жесткого тела. Однако система Евклида может быть так изменена,

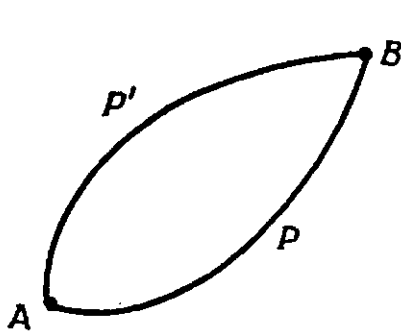


Рис. 23.

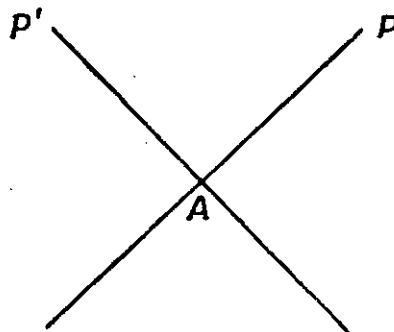


Рис. 24.

что она станет чисто логической. Покажем это на очень простом примере. Для этого мы должны формулировать ее таким образом, чтобы истинность ее положений зависела только от их формы, а не от значения геометрических терминов «прямая линия», «точка», «пересечение» и «соединение».

Выше мы сформулировали аксиому, что две точки, A и B , могут соединяться только одной прямой линией (аксиома I). В этом случае с помощью диаграмм, приведенных на рис. 23 и 24, мы вывели заключение, что две прямые линии могут пересекаться

только или в одной точке или не пересекаться совсем (рис. 23).

Если на рис. 24 линии P и P' пересекались бы не только в точке A , но и во второй точке B , то мы имели бы фиг. 23, что, согласно аксиоме I, невозможно, если P и P' — разные линии. Это — интуитивное доказательство, зависящее от мысленно представляемых прямых линий и точек и пересекающихся прямых линий. С этим, однако, не связаны необходимым образом значения прямой линии и точки и пересечения в физическом смысле. Мы можем сформулировать это доказательство таким образом, что оно

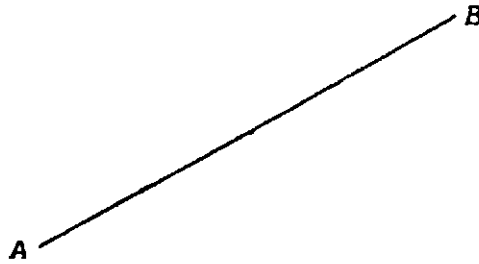


Рис. 25.

станет полностью логическим; иначе говоря, таким образом, что физические значения этих терминов оказываются ненужными.

Покажем, что геометрические доказательства остаются правильными, даже если мы заменим «прямые линии» и «точки» «яблоками» и «апельсинами». Вспомним аксиому I: если имеются две точки, A и B , то есть только одна прямая линия, соединяющая их (рис. 25). Из этого мы можем вывести королларий I: две прямые линии, P и P' , никогда не могут пересечься более чем в одной точке.

Теперь мы должны «формализовать» эти высказывания (аксиому I и королларий I). Это значит привести их в такую форму, чтобы можно было ясно видеть, почему значение геометрических терминов не влияет на истинность доказательств.

Во-первых, исключим термины «соединять» и «пересекать». Если прямая линия проходит через точку, то мы будем говорить, что «прямая линия совпадает с точкой». Если точка находится на линии, мы будем говорить, что «точка совпадает с линией». Аксиома I теперь гласит: если прямая линия P совпадает с двумя точками A и B , а прямая P' тоже совпадает с этими же двумя точками A и B , то P и P' не отличаются друг от друга. Если бы королларий был неверен, то мы могли бы допустить, что прямая линия P совпадает с двумя точками A и B и что *другая и отличная от первой* прямая линия P' совмещается с этими же двумя точками A и B . Но первая аксиома гласит, что P не отличается от P' . Таким образом, из допущения, что P и P' различны, мы заключаем, что P не отличается от P' . Это значило бы: из высказывания « S — истинно» следует, что «не- S (отрицание S) — истинно». Поэтому должен быть истинным королларий: две прямые линии, если они не тождественны, могут совмещаться только с одной точкой или, иначе говоря, не могут пересекаться более чем в одной точке.

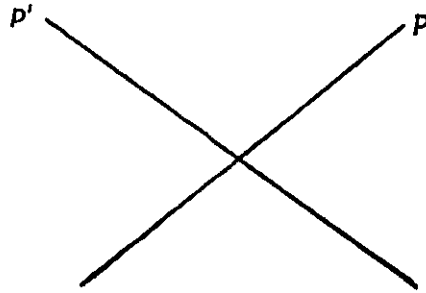


Рис. 26.

Теперь мы можем заменить термины в вышеприведенном доказательстве следующим образом: «точку» — «яблоком», «прямую линию» — «апельсином», «совпадают» — выражением «находятся на одной доске». Тогда мы увидим, что физические свойства «прямых линий», «точек» и «совпадения» не имеют никакого отношения к истинности доказательства. Первая аксиома будет гласить: на одной и той же доске не может быть двух яблок и больше одного апельсина. А первый королларий будет гласить: если на одной доске имеются два апельсина и одно яблоко, то невозможно, чтобы на той же доске было еще

одно яблоко. Если бы там было второе яблоко, то на той же доске было бы два яблока и два апельсина. А это противоречило бы аксиоме I. Следовательно, из аксиомы I мы, очевидно, можем вывести королларий. Отсюда видно, что мы можем вывести те же заключения, изменив значения геометрических терминов. В вышеприведенном доказательстве мы использовали только значение слова «не», но мы могли бы формализовать и логическую систему таким образом, что значения логических терминов также не вошли бы в нее.

9. Формализация конгруэнтности

В традиционном преподавании геометрия до сих пор преподносится почти в том же виде, как она была написана Евклидом. В самом строгом смысле она только отчасти является логической системой, так как в ней пользуются некоторыми эмпирическими поня-

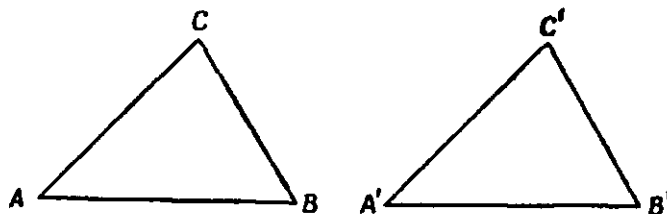


Рис. 27.

тиями. Среди основных понятий самым «физическим» кажется понятие «конгруэнтности». Традиционное определение гласит: две фигуры «конгруэнтны», если мы можем их совместить. Это определение безусловно имеет в виду идею, что эти фигуры — «жесткие тела» и могут передвигаться без изменения их формы или размера. Это явно подразумевает физическую операцию перемещения жестких тел.

Рассмотрим, например, первую теорему конгруэнтности. Мы будем употреблять символ \cong для обозначения «конгруэнтен». Первая теорема конгруэнтности гласит, что если $AC \cong A'C'$, $AB \cong A'B'$ и угол $CAB \cong C'A'B'$, то $BC \cong B'C'$. Как это доказать? Согласно

Евклиду, две стороны конгруэнтны, если они могут совместиться. Следовательно, согласно приведенным выше условиям, линия AC может быть совмещена с линией $A'C'$, а AB — с $A'B'$ одновременно. Следовательно, BC должна совместиться с $B'C'$ и, таким образом, $BC \equiv B'C'$. Мы использовали здесь как логическое, так и эмпирическое доказательства. Теперь используем чисто логические рассуждения. С помощью знаков p , q и r обозначим простые предложения. Тогда типичным примером чисто логического высказывания является: допустим, что если p истинно, то истинно q , и что если q истинно, то истинно r . Отсюда можно заключить, что если p истинно, то истинно r . Не имеет никакого значения, являются ли p , q и r утверждениями о точках, конгруэнтности, совпадении или о чем-либо другом.

В конце XIX века делались попытки сделать геометрию такой чисто логической системой. Эти попытки были суммированы и усовершенствованы Давидом Гильбертом в 1898—1899 году и опубликованы в его книге «Основания геометрии». В основу было положено, что геометрия должна развиваться таким образом, чтобы можно было переходить от аксиом к теоремам независимо от значения понятий, входящих в эти аксиомы. Если в аксиомах мы формулируем свойства прямых линий и употребляем в выводах только эти свойства прямых линий, то нам не нужно знать, что представляет собой прямая линия. Мы видели, что в традиционной геометрии физическое значение предиката «совпадение» употребляется для того, чтобы доказать теоремы конгруэнтности. Итак, посмотрим теперь, как первая теорема конгруэнтности, которую мы рассмотрели выше, доказывается Гильбертом без употребления физического значения терминов. Мы можем больше не говорить, что две системы конгруэнтны, если их можно сделать «совпадающими». Это подразумевало бы физическую операцию. Вместо этого мы должны ссылаться на свойства конгруэнтности с помощью аксиом. Какие свойства имеют два сегмента, если они конгруэнтны? Рассмотрим следующую диаграмму (рис. 28).

Возьмем прямую линию a и две точки A и B на ней. Тогда первая аксиома конгруэнтности будет гласить: на любой прямой линии a' , начиная с любой ее точки A' , и соответственно на каждой стороне от этой точки можно всегда найти B' такую, что $A'B' \equiv AB$. Это одно из свойств конгруэнтности. Характерным моментом является то, что эта аксиома не исключает

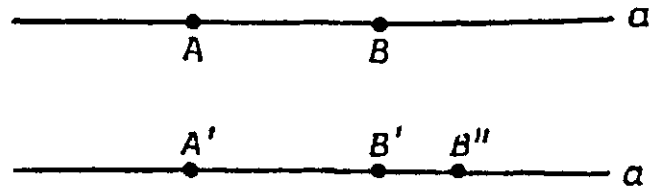


Рис. 28.

возможности, что на этой линии может также быть еще точка B'' , отличная от B' и такая, что $AB \equiv A'B''$. Эта аксиома не говорит, что существует только одна точка B' , имеющая описанное свойство. Если бы мы определили термин «конгруэнтный» через выражение «приведение к совпадению», то речь шла бы только

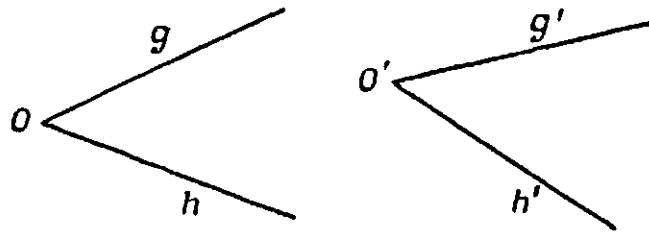


Рис. 29.

об одной точке: в геометрии Гильберта именно доказывается, что существует только одна такая точка. Еще два свойства конгруэнтности даются в следующих аксиомах: два сегмента, конгруэнтные с третьим, конгруэнтны друг с другом; и два угла, конгруэнтные с третьим, конгруэнтны друг с другом. «Угол» определяется как две прямые линии g и h , пересекающиеся в точке O (рис. 29). Теперь мы можем сформулировать аксиому: если дана линия g' , идущая из точки O' , находящаяся в любой содержащей ее пло-

скости и на каждой из двух сторон от этой точки, то может быть найдена одна и только одна линия h' , идущая от O' , такая, что угол $g'h'$ будет конгруэнтным с данным углом gh . Далее, мы вводим аксиому, в которой определенным образом формулируется отношение между конгруэнтностью сегментов и конгруэнтностью углов. Нам нужно такое отношение для того, чтобы доказать первую теорему конгруэнтности. Чтобы избежать обращения к физическому смыслу

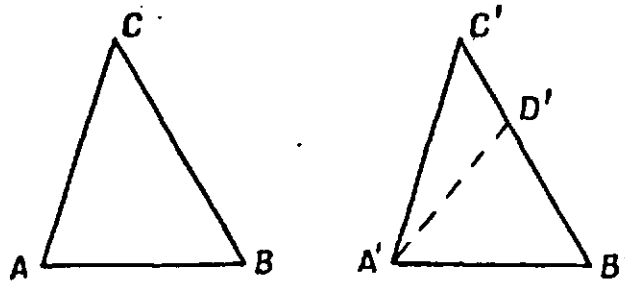


Рис. 30.

конгруэнтности, Гильберт предлагает эту аксиому, из которой можно вывести то, что Евклид вывел, пользуясь физическим значением терминов (рис. 30). Новая аксиома Гильберта гласит: если $AB \equiv A'B'$ и $AC \equiv A'C'$ и угол $CAB \equiv$ с углом $C'A'B'$, тогда угол $ACB \equiv$ углу $A'C'B'$. Эти аксиомы, в том виде, как мы их только что сформулировали, не предполагают никаких физических операций; они дают только свойства конгруэнтности. Теперь используем их для доказательства первой теоремы конгруэнтности. Рассмотрим следующую диаграмму (рис. 30).

Дано, что $AB \equiv A'B'$, $AC \equiv A'C'$ и угол $CAB \equiv$ с углом $C'A'B'$. Согласно «первой теореме конгруэнтности», должно иметь силу отношение $B'C' \equiv BC$. Если мы определим «конгруэнтность» через «совпадение», то доказательство очевидно. Гильберт, однако, доказывал это следующим образом, исходя из своей аксиомы: если бы линия $B'C'$ не была конгруэнтна BC , тогда, согласно вышеприведенной первой аксиоме (Гильберта), мы всегда могли бы найти точку D' ,

такую, что $B'D' \equiv BC$. (Если эта точка лежит дальше C' , то доказательство будет подобным.) Теперь сравним треугольник ABC с треугольником $A'B'C'$. $AB \equiv A'B'$, $BC \equiv B'D'$ и, согласно аксиоме Гильберта, угол ABC конгруэнтен углу $A'B'D'$. Следовательно, также согласно аксиоме Гильберта, угол $D'A'B'$ конгруэнтен углу CAB и угол $A'D'B' \equiv \equiv$ углу ACB . Следовательно, угол $D'A'B' \equiv C'A'B'$ и $A'C'$ должно совпадать с $A'D'$. Таким образом, мы видим, как путем введения несколько более сложных аксиом мы можем доказать теоремы конгруэнтности чисто логическим путем, без ссылки на физическую идею «приведения к совпадению». Мы не давали никакой физической интерпретации терминов; мы просто сформулировали некоторые аксиомы, в которых эти термины встречаются. Из этого следует, что мы ничего не можем сказать о внешнем мире. Однако если существует некая конгруэнтность, то существует также и другая конгруэнтность, но мы не знаем, «что представляет собой конгруэнтность».

С другой стороны, мы знаем, что геометрия дает нам законы о свойствах физических тел. Если мы сделаем треугольник из жесткой стали, то посредством реальных измерений установим, что сумма углов будет приблизительно равна 180° . Теперь встает вопрос: каким образом логическая система математической геометрии, например система аксиом Гильберта, может помочь нам получить физические законы, касающиеся треугольников из стали или дерева? Эта связь будет рассмотрена в следующем параграфе.

10. Операциональные определения в геометрии

Мы видели, что система математической геометрии, если ее должным образом формализовать, становится независимой от значений терминов, таких, как прямые линии и точки. Тогда вся система может рассматриваться как определение этих терминов

ввиду того, что она дает все их свойства. Аксиома I, например, может быть сформулирована следующим образом: «Точки» и «прямые линии» суть такие объекты, а «совпадение» — такое свойство, что одна и только одна прямая линия может совпадать с двумя данными точками. Это — «имплицитное определение» геометрических терминов. Аксиома I (§ 8) выражает то же самое, но в другой форме. Мы называем ее «имплицитным определением» точек и прямых линий. Эти определения, как и всякое определение, произвольны. Что бы ни случилось в мире опыта, никто не может помешать нам сформулировать эти определения. Они не истинны и не ложны; они обуславливают правила, согласно которым геометрические термины «точка», «прямая линия», «совпадение» и т. д. оказываются *связанными друг с другом*; но они не обуславливают никаких правил для связи этих терминов с физическими объектами, вроде треугольников из дерева или стали. Если мы хотим теперь перейти к вопросу о том, как использовать формализованную геометрию для нашей ориентации в физическом мире, то мы должны поставить следующий вопрос: существуют ли в физическом мире объекты, которые имеют свойства, сформулированные в аксиомах? Если существуют, то они тоже имеют сформулированные в теоремах свойства. Мы ищем «физическую интерпретацию» аксиом геометрии.

Мы, например, могли бы сказать, что интерпретируем прямую линию в физическом мире как ребро железного куба. В физике такое тело может быть определено только посредством той технологической процедуры, с помощью которой такой куб изготавливается. Мы должны принять во внимание поправки в отношении изменений размеров и формы, происходящих благодаря изменениям температуры и давления. Эти процедуры включают установление находящегося в Париже стандартного метра и измерение нашего проектируемого куба сравнением с этим стандартным метром. Наконец, мы получим «ребро жесткого тела». Концы этого ребра являются физической интерпретацией «точек». Таким путем мы найдем

то, что Бриджмен назвал «операциональными определениями» терминов «прямая линия», «точка» и т. д. Эти определения, очевидно, существенно отличаются от определений этих терминов с помощью аксиом формализованной геометрии, определений, которые мы можем назвать «аксиоматическими определениями». Мы можем также дать и другие «операциональные определения» прямой линии, сказав, что она есть путь светового луча или линия натянутой веревки. Мы можем утверждать, что она есть кратчайшее расстояние между двумя точками — в этом случае нам понадобится «операциональное определение» кратчайшего, то есть способа измерения длины.

Если мы дадим физическую интерпретацию «точки», «прямой линии» и «пересечения», то аксиомы и теоремы геометрии приобретают совершенно иной характер. Аксиоматические определения «прямой линии», «точки» и т. д. произвольны, но если мы вместо этих терминов подставим их операциональные определения, то они становятся утверждениями о физических вещах и должны проверяться экспериментом: они могут быть подтверждены или опровергнуты. Если в таком случае сделать треугольник из дерева или стали и измерить сумму его углов и она окажется приблизительно равной 180° , то будет ли это подтверждением евклидовой геометрии? Строго говоря, нет; это будет подтверждением «специальной физической интерпретации евклидовой геометрии». Если мы найдем «простые» объекты, имеющие для нас некоторое значение, которые удовлетворяют аксиомам евклидовой геометрии, то мы скажем, что евклидова геометрия «истинна» в том смысле, что она имеет для нас определенное практическое применение.

Невозможно противопоставить евклидову геометрию геометрии Лобачевского путем непосредственного сравнения физических интерпретаций аксиом. Каким образом можем мы определить, есть ли в телах одна или больше граней, которые не пересекаются, даже если их продлить достаточно далеко? Практически это невозможно определить путем непо-

средственного эксперимента. Может быть, мы можем, как в физике, скорее проверить некоторые следствия из аксиом, чем сами аксиомы. Например, из евклидовой аксиомы следует теорема, что сумма углов в треугольнике равна 180° . Если мы измерим эту сумму, можем найти небольшой «дефект»; наблюдаемая сумма может быть несколько меньше 180° . Мы можем приписать эту разницу экспериментальным ошибкам. Однако мы могли бы также допустить, что при той же самой физической интерпретации справедлива геометрия Лобачевского. Если мы допустим эту возможность, то не будем знать, действительно ли «дефект» получился в результате ошибок. Это зависит от того, какая конкретная геометрия Лобачевского применена (§ 7). Мы должны особо обсудить вопрос о том, как велик треугольник, служащий единицей измерения. Если наш измеренный треугольник намного меньше, чем единичный треугольник, то дефект будет очень небольшим. Если же длина основания измеренного треугольника составляла бы миллион миль, то дефект был бы гораздо большим. Таким образом, мы видим две возможности для объяснения незначительного отклонения измерения от 180° : применяется некоторая евклидова геометрия, и мы интерпретируем эти отклонения как «ошибки», используется какая-либо конкретная геометрия Лобачевского, причем треугольники здесь на земле оказываются очень маленькими по сравнению с единичным треугольником. Если имеются две возможности, то можно избрать более «простую», если только мы сможем найти очевидный критерий простоты.

Эти замечания относятся к одной и той же физической интерпретации двух систем аксиом. Мы должны также рассмотреть две другие физические интерпретации. Может случиться, что одна из этих двух физических интерпретаций — скажем, что прямые линии являются световыми лучами — подтверждает евклидову геометрию, а другая — прямые линии суть ребра жестких тел — геометрию Лобачевского. Таким образом, эксперимент никогда не может подтвердить ту или иную систему геометрических

аксиом, а только «геометрию» *плюс* ее физическую интерпретацию. Проблема всегда заключается в следующем: если расширенная система, состоящая из аксиом геометрии плюс их физическая интерпретация, не подтверждается экспериментом, то мы можем отбросить или одну, или другую часть расширенной системы. Мы снова подчеркнули тот момент, что формализованная система геометрии ничего не говорит нам о мире физических экспериментов и состоит из «условных» определений. Это было сформулировано великим французским математиком и философом Анри Пуанкаре. Он заявил, что законы геометрии вовсе не являются утверждениями о реальном мире, а представляют собой произвольные соглашения о том, как употреблять такие термины, как «прямая линия» и «точка». Это учение Пуанкаре стало известно под названием «конвенционализм». Оно вызвало недовольство многих тем, что объявило, что предложения геометрии, которые они рассматривали как «истинные», суть только «соглашения». Ученые, утверждающие истинность геометрии, подчеркивали, что геометрия чрезвычайно практически полезна для человека. Этого Пуанкаре не отрицал. Существуют и полезные и бесполезные соглашения. Если бы в физическом мире не было ничего, что удовлетворяло бы аксиомам геометрии (например, жестких тел), то геометрия как система соглашений не имела бы никакого практического интереса, ибо не могла бы ни к чему применяться. Тем не менее в силу ее характера, заключающегося в выражении «если, то», геометрия осталась бы истинной. Таким образом, мы можем сказать, что такие логические структуры, как геометрия, являются истинными сами по себе, независимо от того, что происходит в мире, и независимо от значения их терминов. Значение их терминов не влияет на их истинность. Мы могли бы сказать, что геометрия есть инструмент, который мы создали для того, чтобы обращаться с твердыми телами. Если мы даем законам геометрии физическую интерпретацию, то они становятся физическими законами — такими же, как и всякие другие физические законы. Но мы должны

иметь в виду, что геометрия может рассматриваться с двух точек зрения. Как логическая структура она не имеет связи с реальностью, но обладает чертами достоверности. Но как только мы дадим ей физическую интерпретацию, она утрачивает эту черту достоверности. Эйнштейн выразил это следующим образом: «Пока геометрия достоверна, в ней ничего не говорится о физическом мире; а коль скоро в ней говорится что-либо о результатах нашего физического опыта, она становится недостоверной». Часто задают вопрос, каково наше «реальное пространство» — евклидово или неевклидово. Некоторые хотят доказать, что наше «реальное пространство» действительно является евклидовым и что неевклидово пространство есть только фикция, продукт нашего воображения или построения. Эта альтернатива сформулирована неправильно.

Мы должны различать геометрию как логическую структуру и геометрию как физическую интерпретацию. Мы должны понимать, в какой степени геометрия является условной. С чисто логической точки зрения евклидова и неевклидова геометрия — это две логические структуры, одинаково последовательные и поэтому одинаково «истинные». Вопрос, «является ли наше реальное пространство евклидовым», значит: имеются ли простые физические интерпретации «точки», «прямой линии» и т. д., удовлетворяющие аксиомам и, следовательно, также теоремам евклидовой геометрии?

11. Концепция геометрии XX века

Когда около 1600 года развилась наука нового времени, то в отношении представлений науки, которая подчеркивала логические системы терминов, возникло некоторое недоверие. Задолго до того, как стали думать о понятии «операциональное значение», логические системы, получившие выражение в средневековой схоластике, применялись к миру опыта довольно свободно. Думали, что, сформулировав

логическую систему, человек уже выдвигает теорию, касающуюся мира опыта. Не вдаваясь в глубокое рассмотрение этого вопроса, можно сказать, что эта вера не была ложной. Некоторые операциональные определения принимались как нечто само собой разумеющееся, при этом не было никакой необходимости в их явной формулировке. Даже люди, вроде Лобачевского или Гильберта, говорили о прямых линиях как о вещах физического мира, как будто не существовало нескольких разных способов давать «операциональное определение» прямой линии. «Ребро твердого тела» обычно бралось для нее в качестве естественной физической интерпретации, как нечто само собой разумеющееся. Как мы упоминали, однако, отсутствие хорошо определенного связующего звена между логическими системами и миром опыта отмечалось и подвергалось нападкам со стороны самых ранних защитников эксперимента как основы науки. Бэкон направил свою книгу «Новый Органон» против работ Аристотеля «Органон», «Метафизика» и «Физика», в которых философ древней науки подчеркивал роль логических систем, не уделяя достаточного внимания роли «операциональных определений», хотя он на самом деле уделял последним больше внимания, чем его великий предшественник Платон. Френсис Бэкон писал:

«Силлогизмы состоят из предложений, предложения — из слов, а слова суть знаки понятий. Поэтому, если сами понятия, составляя основу всего, спутанны и необдуманно отвлечены от вещей, то нет ничего прочного в том, что построено на них... Логика, которой теперь пользуются, скорее служит укреплению и сохранению ошибок, имеющих свое основание в общепринятых понятиях, чем отысканию истины. Поэтому она более вредна, чем полезна»¹.

Конечно, тенденция представить геометрию как чисто логическую систему была очень сильна. Геометрия гордилась своей «абсолютной достоверностью», и эта претензия не могла основываться на экспери-

¹ Ф. Бэкон, Новый Органон, стр. 110.

ментальных исследованиях. Ружье сказал в своей книге «Философия геометрии Анри Пуанкаре»:

«Геометрические теоремы, очевидно, обладают двойной достоверностью: аподиктической необходимостью, которая возникает из доказательства, и чувственной очевидностью, коренящейся в пространственной интуиции. Они, по-видимому, обладают двойной истинностью: формальной истинностью, имеющей свое происхождение в последовательной логике рассуждений, и материальной истинностью, заключающейся в согласии предметов мысли с их объектами»¹.

Согласно обычным представлениям геометрии XIX века, теоремы основываются на формально-логических дедуктивных выводах из аксиом, а истинность аксиом основывается на «пространственной интуиции». Логические выводы теорем не считались спорными, но «пространственная интуиция аксиом», являющаяся почти тем же, что и «видение очами разума», сурово критиковалась. Особенно с середины XIX века громко раздавались голоса тех, кто рассматривал аксиомы как результат опыта, несмотря на то, что это было несовместимо с признанной «достоверностью» геометрических теорем.

Два великих ученых середины XIX века, Риман и Гельмгольц, настаивали на том, что аксиомы геометрии являются результатом физического наблюдения и что поэтому теоремы обладают не большей достоверностью, чем любые положения физики. Риман в своей статье «О гипотезах геометрии», написанной в 1854 году, писал: «Свойства, которые отличают пространство от других мыслимых континуумов трех измерений, могут быть найдены только из опыта». Около 1900 года этот взгляд проник в учебники, написанные на высоком научном уровне, в то время как в учебниках среднего уровня все еще держались за «самоочевидность» аксиом. После 1900 года некоторые выдающиеся математики опубликовали

¹ L. Rougier, La Philosophie Geometrique de Henri Poincaré.

учебники геометрии с целью приведения в них их современных воззрений. Например, французский математик Эмиль Борель в 1908 году писал в своем учебнике:

«Целью геометрии является изучение тех свойств тел, которые могут считаться независимыми от их материи, но только в отношении их размеров и форм. Геометрические измерения поверхности поля не решают вопрос, хороша или плоха почва этого поля».

Итальянский математик Джузеппе Веронезе в своей книге «Элементы геометрии» утверждал в 1909 году: «Аксиома есть предложение, содержание которого подтверждается экспериментально и которое не противоречит какому-либо другому предложению и не выводится из него». Аксиомы начали теперь играть роль физических гипотез. Теоремы ввиду этого также стали утверждениями о физических фактах. Тогда встал вопрос: в чем заключается разница между аксиомой и теоремой? Итальянские математики Фредерико Энрикес и Умберто Амальди в своей работе «Элементы геометрии», написанной в 1908 году, ответили на этот вопрос следующим образом:

«Первые геометрические свойства фигур *очевидны*; они подсказываются нам непосредственными чувственными наблюдениями реальных тел, которые были источниками наших понятий об этих фигурах. Из этих первых интуитивных свойств посредством логических умозаключений мы можем вывести другие свойства, не прибегая к дальнейшим наблюдениям. Эти свойства в общем менее очевидны»¹.

Таким образом, эти авторы подчеркивали очень важный момент, что в действительности никакое общее высказывание не может быть выведено из чувственных наблюдений, а может только подсказываться и проверяться наблюдениями. Энрикес подчеркивал, что трудно усмотреть, что такие теоремы, как сумма углов треугольника равна 180° , могут под-

¹ Frederigo Enriques and Umberto Amaldi, *Elementi di Geometria*.

сказываться непосредственными наблюдениями, в то время как утверждение, что только одна прямая линия может проходить через две точки, настойчиво приходит нам на ум благодаря наблюдениям. Первое — теорема, а второе — аксиома. В начале нового века, в 1921 году, эта ситуация описывалась Эйнштейном следующим образом:

«Но в связи с этим перед нами возникает загадка, которая столь беспокоила исследователей всех времен. Почему возможно такое превосходное соответствие математики с действительными предметами, если сама она является произведением только человеческой мысли, независимо от всякого опыта? Может ли человеческий разум без всякого опыта, путем только одного размышления, открыть основу существующих вещей»¹.

Разрешению этой загадки, осуществленному не чистыми математиками и не «чистыми» философами, а математическими физиками, благоприятствовал XX век. Это решение было осуществлено в два этапа. С первым этапом было связано создание «аксиоматического метода», или, иначе, осуществление «формализации аксиом». Этот этап был завершен работами немецкого математика Давида Гильберта с учетом предшествующих его работам произведений других авторов, таких, как Мориц Паш. Он построил систему аксиом, действительно являвшихся «аксиоматическими определениями» геометрических терминов, из которых были исключены все определения, даваемые с помощью физических операций. Гильберт, однако, признавал, что «эта формальная система является также и логическим анализом нашей способности к интуиции». Он отказался обсуждать, «является ли наша пространственная интуиция интуицией а priori (видением очами разума) или эмпирической». Отметим, что в 1899 году связь формальной системы аксиом со свойствами физических тел все еще описывалась с помощью только таких не-

¹ А. Эйнштейн, Геометрия и опыт, Петроград, 1922, стр. 4.

определенных и двусмысленных терминов, как «пространственная интуиция».

Второй этап связан с именем французского математика, физика и философа Анри Пуанкаре. В конце XIX века он сделал попытку построить геометрию, которая должна была охватить как формально-логический, так и эмпирико-физический аспекты. Гильберт определял «геометрические термины» с помощью «аксиоматических определений» и ссылался на их физические интерпретации только посредством неопределенных терминов — таких, как «пространственная интуиция». Согласно Пуанкаре, термины, которые определяются с помощью такой системы, как система Гильберта, представляют собой физические вещи. Аксиомы претендуют на существование в нашем мире физических объектов или на то, что могут быть созданы такие объекты, которые будут удовлетворять этим аксиомам. Если мы скажем, например, что вместо «прямых линий» можно подставить «световые лучи», то аксиомы становятся «положениями физики». Если мы хотим проверить, действительно ли треугольник из световых лучей в пустом пространстве имеет сумму углов, равную прямому углом, то мы наталкиваемся на особого рода затруднение. Так, если обнаружится, что сумма углов, о которой идет речь, отличается от двух прямых углов, то этот результат можно истолковать, сказав, что «дефект» обусловлен не ложностью евклидовой геометрии, а тем, что лучи отклонились вследствие действия до сего времени неизвестного закона физики. Из подобных соображений Пуанкаре заключил, что мы можем проверить, удовлетворяют или не удовлетворяют световые лучи евклидовым аксиомам, только в том случае, если знаем все физические законы, касающиеся световых лучей. Иначе мы никогда не сможем с помощью эксперимента установить, правильна ли геометрия Евклида. Мы могли бы утверждать правильность ее аксиом при всех обстоятельствах только в том случае, если бы допустили истинность физических законов, которые компенси-

ровали бы любой «дефект», приписываемый отклонению от «евклидности».

Если сформулировать «проверку справедливости евклидовой геометрии» таким образом, то из этого, конечно, будет следовать, что не существует такого экспериментального метода, с помощью которого можно решить, какая геометрия истинна, евклидова или неевклидова. Эйнштейн писал: «По моему мнению, Пуанкаре прав *sub alternitatis*¹». Но Эйнштейн считал, что было бы целесообразно придать выражению «проверить справедливость евклидовой геометрии» более узкое значение. Он писал:

«По моему убеждению, нет никакого стержня или часов, которые бы удовлетворяли определениям евклидовой геометрии. Это означает, что мы исходим из гипотез, согласно которым могут быть сделаны обычным способом измерительные стержни и часы, подчиняющиеся в малой области пространства и времени законам геометрии Евклида и ньютоновской физики. Следовательно, G и P заданы в пределах определенных границ пространства и времени. Тогда можно поставить такой вопрос: если исходить из выполнимости известных законов физики во всем мире в целом, то можно ли считать, что законы евклидовой геометрии применимы ко всему миру в целом? Если мы отвечаем «да», то это означает, что применимость евклидовой геометрии доказана, если «нет», то она неприменима»².

Можно было бы, например, сделать маленькие кубы из твердой стали. Согласно допущению Эйнштейна, их можно было бы использовать для возведения небольших стен без щелей. Затем попытаемся представить, можно ли построить стены размером в миллионы миль тоже без щелей. Таким способом мы могли проверить справедливость евклидовой геометрии.

¹ С точки зрения вечности. — *Прим. ред.*

² A. Einstein, *Geometry and Experience*, 1921.

Решение «загадки», которое было дано Пуанкаре и Эйнштейном, было хорошо описано Эйнштейном следующим образом:

Прогресс, достигнутый аксиоматической геометрией, заключается в том, что в ней точно определена логическая форма от фактического и интуитивного содержания; согласно аксиоматической геометрии, только логически-формальное составляет предмет математики, но интуитивное содержание связано с формально-логическим... Положения в отношении физических объектов могут быть получены координацией понятий аксиоматической геометрии с наблюдаемыми объектами физической реальности. В частности, твердые тела ведут себя в соответствии с теоремами евклидовой геометрии».

Соответствующая и общая схема, с помощью которой можно трактовать отношение между аксиоматической геометрией и поведением физических объектов, была разработана Бриджменом. Он ввел понятие «операциональные определения», которые должны быть добавлены к «аксиоматическим определениям» для того, чтобы задачи геометрии наполнились соответствующим содержанием. Бриджмен подчеркнул тот момент, что любой термин, встречающийся в аксиоматической геометрии, например «прямая линия», должен быть координирован с технической процедурой, необходимой для воспроизведения описываемого этим термином объекта. Всякая процедура такого рода может быть описана в терминах нашего повседневного языка, откуда и происходит название «операциональное определение». Ядром определения является сведение к «физическим операциям». В качестве простого примера мы можем процитировать определение «длины». Бриджмен пишет:

«Что мы понимаем под длиной объекта? Очевидно, мы знаем, что имеем в виду под длиной, если можем сказать, что представляет собой длина любого объекта. Для того чтобы найти длину объекта, мы должны выполнить определенные физические операции. Понятие длины поэтому фиксировано, когда фиксированы те операции, с помощью которых

измеряется длина. Это значит, что понятие длины включает в себя ровно столько — и ничего больше, — сколько существует операций, посредством которых определяется длина»¹.

Эволюция геометрии до и после 1800 года дала такой толчок прогрессу в философии науки, который едва ли можно переоценить. Л. Ружье, который был одним из первых французских философов, предвидевших направление идей XX века, писал в своей книге «Философия геометрии Анри Пуанкаре» относительно науки:

«Окажется, что открытие неевклидовой геометрии было началом значительной революции в теории познания и, следовательно, в наших метафизических концепциях, касающихся человека и вселенной. Коротко можно сказать, что это открытие имело следствием крушение той дилеммы, в которой требованиями традиционной логики замыкалась теория познания: принципы науки суть или *аподиктические истины* (логические заключения, синтетические а priori) или *ассерторические истины* (факты чувственного наблюдения). Пуанкаре, почерпнув свое вдохновение из трудов Лобачевского и Римана, указал, что в особо важном случае геометрии возможно и другое решение: принципы могут быть простыми условными соглашениями... Однако, далеко не независимые от наших умов и природы, они существуют только благодаря молчаливому согласию всех умов и в сильнейшей степени зависят от фактических внешних условий того окружающего нас мира, в котором нам пришлось жить»².

Если мы примем во внимание эволюцию мысли в геометрии, то сможем разрешить два вопроса, которые ставили в тупик как ученых, так и философов с самого зарождения неевклидовой геометрии. Первый вопрос: является ли наше «действительное пространство» евклидовым или неевклидовым. Второй вопрос:

¹ P. W. Bridgman, Logic of Modern Physics.

² L. Rougier, La Philosophie Geometrique de Henri Poincaré.

является ли неевклидова геометрия столь же мысленно наглядной или столь же интуитивной, как и евклидова. Вопрос о пространстве можно, вероятно, сформулировать следующим образом: можно ли найти такие физические объекты, которые удовлетворяли бы аксиомам евклидовой геометрии? Поскольку на этот вопрос, строго говоря, никогда нельзя с достоверностью ответить отрицательно, мы поставим скорее следующий вопрос: удовлетворяют ли евклидовым аксиомам некоторые особые простые объекты, которые мы на языке нашей повседневной жизни связываем с «прямыми линиями», такие, как световые лучи или ребра твердых кубов? Что же касается другого вопроса, то мы должны учесть, что в употреблении термина «интуитивный» имеется двусмысленность. Он может значить «воспринимаемый чувственным наблюдением», но может значить также и «воспринимаемый очами разума или внутренней интуицией». В первом смысле «интуитивным» является наше познание стола, на котором мы пишем; во втором смысле аксиомы геометрии «интуитивны» для тех, кто верит, что их истинность самоочевидна. Эта двусмысленность играет еще большую роль в немецкой философии, в которой слово «anschaulich», соответствующее слову «интуитивный», часто употребляется в философии науки; оно стало любимым словом и внесло огромную путаницу. Если мы будем придерживаться первого значения слова «интуитивный», являющегося единственно приемлемым в науке, то мы присоединимся к тому определению «интуитивного» представления геометрии или всякой другой науки, которое дал великий немецкий физиолог, математик, физик и философ Герман Гельмгольц. Он определил это следующим образом.

«Это значит полностью представлять себе чувственные впечатления, которые объект (то есть физические объекты, определяемые с помощью аксиом и операциональных определений) вызывает в нас самих соответственно известным законам управляющих нашими органами чувств при всех возможных условиях наблюдений... Если серия чувственных впе-

чатлений дана полностью и недвусмысленно, то следует признать, что объект может быть *представлен интуитивно*¹.

В этом смысле неевклидова геометрия, конечно, так же интуитивна, как и евклидова. Если мы примем, например, аксиомы Лобачевского и захотим измерить треугольник, образованный световыми лучами в пустом пространстве, то мы сможем предсказать те чувственные впечатления, которые мы получим, если будем измерять углы с помощью транспортира или любыми другими физическими приборами.

Решающие шаги к ясному пониманию неевклидовой геометрии были предприняты Риманом, Гельмгольцем и Пуанкаре, которые обнаружили существенное единство геометрии и физики. Однако это понимание не было окончательным, пока Эйнштейн не показал, что такая комбинация геометрии и физики действительно необходима для объяснения явлений, которые на самом деле наблюдались.

¹ Н. Helmholtz, Popular Lectures on Non-scientific subjects.

Глава 4

ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

1. До Галилея и Ньютона

Теперь мы исследуем науку, в которой практическое подтверждение чувственными наблюдениями играет большую роль, чем в геометрии. Мы обратимся к теории движения, которая является основной теорией для всех наук. Разработка правильной теории движения была, вероятно, величайшим шагом вперед в истории науки. Здесь мы найдем то же различие между формальной системой (аксиомы) и ее физической интерпретацией, которое мы находим в геометрии, но связь между ними будет гораздо сложнее. Для развития современной теории движения понадобилось много времени, но и теперь мы еще не знаем, является ли эта теория движения правильной схемой для будущего. Мы должны исследовать основание, на котором развивалась эта теория, чтобы увидеть, как она развивалась, и осознать, что теории движения, которых мы придерживаемся сейчас, существовали не всегда; прежние теории очень сильно отличаются от теперешних и не были такими, которые мы могли бы назвать практическими. Однако важно правильно понять, что старые теории были по-своему логически последовательными и изящными. Мы не можем просто сказать, что верившие в них люди «ошибались», но верно то,

что они пользовались совершенно иной символической схемой.

Насколько можно судить на основе засвидетельствованной истории, геометрия была очень надежной наукой. Даже различие между евклидовой и неевклидовой геометрией не очень повлияло на применение геометрии к техническим проблемам. История же механики раскрывает большие различия между современной механикой (с XVII века) и более ранними теориями. Эта история очень хорошо описана в книге Герберта Баттерфильда «Источники новой науки» («The Origins of Modern Science»). В наше время ньютоновская механика применяется во всех областях техники, за исключением атомной.

При использовании термина «новая механика» имеется в виду «ньютоновская механика», которая лежит в основе всех ее применений. Первой и основной аксиомой ньютоновской механики является «закон инерции». Закон инерции в той форме, в какой мы его встречаем в любом школьном учебнике, утверждает: «Тело, находящееся в покое, если его предоставить самому себе, будет оставаться в покое или, если оно движется, будет продолжать двигаться по прямой линии с начальной скоростью». Кроме того, большинство учебников пытается убедить нас в том, что это самоочевидно. Мы разберем этот закон ниже, а сейчас только отметим, что он, конечно, не самоочевиден. Для того чтобы понять закон инерции в целом, мы должны были бы рассмотреть, что представляет собой «прямолинейное» движение и что значит утверждение, что «тело предоставлено самому себе». Движение, параллельное краю прямоугольного стола, стоящего в комнате, не является прямолинейным движением по отношению к неподвижным звездам; Земля вращается по отношению к так называемым «неподвижным» звездам, которые на самом деле не неподвижны. Очень трудно определить прямолинейное движение.

Закон инерции — очень сложный закон и для обыденного здравого смысла совсем не является правдоподобным или самоочевидным.

Во что верили люди до того, как была признана ньютоновская механика? Как формулировалась теория механики, скажем, Аристотелем или средневековыми аристотеликами, из которых наиболее видным был Фома Аквинский? Средневековая поэма, «Божественная комедия» Данте, дает очень наглядное представление об этой древней теории. Вергилий ведет Данте через два нижних царства будущего мира, через Ад и Чистилище, и когда он подходит к Раю, то

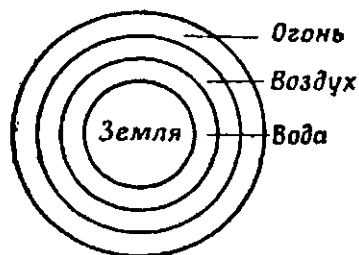


Рис. 31.

поражается тому, что он (Данте) будучи тяжелым, оказывается в состоянии подняться к нему. Но его «старая страсть», Беатриче, ведущая его по Раю, знакомит его с элементами механики. Она говорит, что основной закон механики заключается не в том, что все тяжелые тела падают на землю, а в том, что

все тела движутся к месту, к которому тела принадлежат. Поскольку теперь тела являются духами, поясняет она, они не противоречат закону механики, а, поднимаясь вверх, повинуются ему.

Теперь мы видим, что все тела состоят приблизительно из сотни элементов, в то время как в период древности и средних веков утверждалось, что имеется два разных вида тел — земные и небесные. Считалось, что земные тела составлены из четырех разных элементов — земли, воды, огня и воздуха, — и утверждалось, что эти четыре элемента имеют определенное естественное распределение в мире, как это изображено на следующей диаграмме (рис. 31).

Если бы все эти элементы оставались на своих местах, то не было бы никакого движения вообще, но поскольку на земле имеются некоторые нарушения, постольку необходимо проводить различие между естественными и неестественными движениями. Неестественно для куска земли подниматься вверх, в воздух, но естественно для него падать снова вниз.

Естественным движением для всех вещей является возвращение к тому, к чему они принадлежат; все тела стараются вернуться на их естественные места как можно скорее, но тут могут возникать некоторые препятствия. Чем больше препятствие, тем медленнее они возвращаются назад. Вообще движение рассматривалось как комбинация естественных и неестественных движений.

На первый взгляд эта теория не выглядит такой уж неубедительной: она объясняет большинство явлений, как они выступают в повседневном опыте. Однако в ней содержится серьезное затруднение: если толкать какой-либо снаряд, то можно, пока он находится в руке, придать ему очень быстрое движение, но он сохраняет это неестественное движение только на некоторое время. В наше время мы приписываем это «инерции», но в древней механике существовало только два способа объяснения движения. Первый — тело может стремиться к «своему месту» (естественное движение); очевидно, не существует «места», к которому брошенное тело может двигаться в горизонтальном направлении. Второй — тело может приводиться в движение «насилом», например непосредственным действием чьей-либо руки. Однако поскольку чья-либо рука касается бросаемого тела только в первый момент, постольку продолжающееся движение в горизонтальном направлении объяснялось продолжающимся толканием воздуха. Другое затруднение возникло благодаря тому, что, согласно вышеприведенной теории, камень должен падать вниз с постоянной скоростью, потому что скорость тела определялась только его стремлением к его «естественному месту» и сопротивлением воздуха; но было известно, что падающий камень ускоряет свое движение. Для этого было два объяснения: бóльший столб воздуха, толкающий тело вниз, когда оно падает, и теория, что чем ближе тело подходит к своему месту, тем больше оно «радуется» этому и тем быстрее двигается к нему.

2. Древние законы движения были «организмическими»

Эта древняя и средневековая теория может быть названа «организмической» (organismic) теорией; она трактовала движение неодушевленных тел (таких, как камни) по аналогии с движениями животных. Точно так же, как мы говорим о собаке, что она выполняет определенное движение для того, чтобы получить кусок мяса, средневековые механики предполагали, что

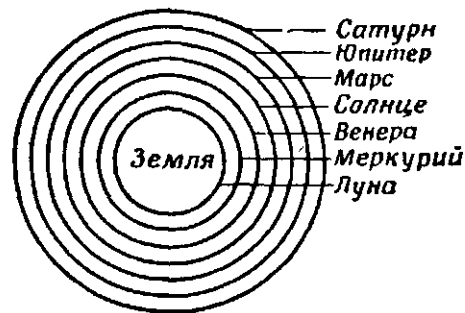


Рис. 32.

камень падает для того, чтобы попасть на свое «естественное место». А как обстоит дело с небесными телами? За пределами круга огня, изображенного на рис. 31, начинается царство небесных тел, или планетарных сфер, которые считались вращающимися (рис. 32). Эти небесные тела состоят из гораздо более тонкой материи, чем земные тела. Каждой из этих семи сфер присущ некий дух, род божества. Существовали разные идеи, касающиеся этих сфер, но общей идеей была та, что сферы состоят из неземных материалов. Некоторыми авторами они описывались как кристаллические сферы. Основной их характерной чертой считалось то, что сферы движутся самым совершенным образом — вечным, равномерным, круговым движением. Что же в таком случае находится за пределами седьмой сферы? Утверждалось, что за пределами седьмой сферы находится восьмая сфера неподвижных звезд, — предполагалось, что звезды

прикреплены к восьмой сфере и движутся вокруг вместе с ней. За пределами восьмой сферы находится небо. Беатриче приняла Данте у входа в лунную сферу, и поэт описывает все семь небес.

Цель этой теории заключается в ответе на вопрос: что заставляет эти небеса все время двигаться? Согласно одной идее, считалось, что они могут самостоятельно двигаться благодаря духу, пребывающему в каждой сфере. В своей книге «Aristotle» Вернер Йегер описывает, как Аристотель сам постепенно изменяет свои идеи. В конце концов возникла идея «перводвигателя», или «*primum mobile*», что за пределами восьмой сферы находится девятая, которая сама не движется, но приводит в движение все остальное. Данные опыта обыденного здравого смысла, которые привели к закону инерции, были некоторыми древними и средневековыми философами сформулированы таким образом, что имели едва уловимое сходство с этим законом, но практически вели к совершенно иным выводам. Эти выводы касались не только механики в новом смысле слова, но также и области человеческого поведения, которое направляется метафизикой и религией. Формула, основанная на положениях Аристотеля и Фомы Аквинского, гласит: «Все, что находится в движении, движется благодаря воздействию другого». Это утверждение в общем виде явно описывает опыт нашей повседневной жизни. Согласно Аристотелю и Фоме Аквинскому, это «философская истина», логически полученная из «интеллигибельных принципов». Философами предполагались разные виды выводов. Я приведу только одно доказательство, выдвинутое Фомой Аквинским, который старался опровергнуть утверждение о том, что «тело может двигаться само по себе без воздействия со стороны другого». Допустим, что некое твердое тело может двигаться как целое «само по себе». Тогда, когда часть находится в покое, покоится и целое; и когда движется часть, движется и целое. В таком случае движение одной части зависит от движения другой части. Поэтому тело как целое движется не само по себе, что противоречит допущению. Таким образом

доказывалось, что «все, что находится в движении, движется благодаря воздействию другого».

Из этого положения древние и средневековые философы выводили далеко идущие следствия. Фома Аквинский пишет:

«Все, что находится в движении, движется благодаря воздействию другого, а для чувства ясно, что нечто, вроде, например, Солнца, находится в движении. Поэтому оно приведено в движение чем-то другим, движущим его. В таком случае то, что движет его, само или движется, или не движется. Если бы оно не двигалось, тогда было бы доказано, что мы должны с необходимостью постулировать наличие неподвижного двигателя, а его мы называем богом. Если же оно движется, то движется благодаря воздействию другого двигателя. Поэтому или мы должны идти в бесконечность, или должны прийти к неподвижному двигателю. Но идти в бесконечность невозможно. Поэтому необходимо постулировать существование неподвижного двигателя»¹.

Следовательно, на основе интеллигибельных принципов было установлено существование «перводвигателя», который был отождествлен, как мы видели выше, с девятой небесной сферой, охватывающей сферу неподвижных звезд. Считалось, что сфера неподвижных звезд в свою очередь движет все другие благодаря тому, что она, двигая одну сферу, ближайшую к ней, приводит к тому, что эта сфера вызывает движение другой, ближайшей к той, и т. д. Таким образом, все движение, выведенное из сферы неподвижных звезд, стало основой астрологии. Как мы видели, идея перводвигателя рассматривалась Фомой Аквинским как доказательство бытия бога. Так она стала существенным моментом картины мира, имеющей весьма определенное отношение к религии. Она имела очень глубокие корни в средневековом мышлении, или, как принято говорить сейчас, в образе поведения средневекового человека.

¹ St. Thomas Aquinas, *Summa Contra Gentiles*, Vol. 1, ch. XIII.

Эта организмическая теория могла применяться как к живым организмам, так и к неодушевленной природе; на самом же деле ее было легче применять к живым организмам. Несмотря на изменения, которые составили постепенный переход к новой теории, она господствовала в мышлении ученых приблизительно до 1600 года. По правде говоря, в целом влияние организмической теории движения никогда полностью не исчезало. Хотя ее роль в науке сошла на нет, она сохранилась в философских интерпретациях науки до нашего времени.

Если бы мы воспользовались тем образом, который дает представление о связи науки и философии как о цепи «наука — философия», то мы сказали бы: эта теория удовлетворяла потребность в интеллигибельной и правдоподобной системе мира, но при переходе от конца цепи, представляющего философию, к концу, представляющему науку, вставляли затруднения в области как небесных, так и земных тел. Трудности в отношении объяснения движения небесных тел привлекали внимание уже греков. Законы, управляющие видимым движением планет (включая Солнце и Луну), были известны много веков назад; было известно, как предсказывать затмения. Скоро стало очевидно, что общие законы организмической теории точно не согласуются с этими древними эмпирическими законами. Это несогласие стало одной из причин разрыва между философией и наукой, так как человек привык иметь две системы мира: одну в астрономии или физике — для технических целей и другую в философии — для «истины интеллигибельной» (см. гл. 1 и 2).

Были затруднения также и в объяснении движения земных тел, например движения брошенного снаряда. Горизонтальная компонента скорости остается постоянной. Как мы узнали в § 1, это не могло быть ни «естественным», ни «неестественным или насильственным» движением. Эти затруднения были центральными пунктами, вокруг которых развивались изменения организмической теории, но приблизительно

до 1600 года не было удовлетворительной теории, из которой могли бы быть выведены математические заключения, касающиеся движения небесных тел. По этой причине они не имели такого большого влияния на философскую мысль, как затруднения в области движения планет. Около 1600 года началось преодоление разрыва в истолковании небесных и земных явлений, предпринятое Галилеем и завершенное Ньютоном. Это преодоление разрыва в истолковании было одним из самых важных поворотных пунктов в истории философии науки.

3. Вселенная как организм

Для точного понимания «организмических» законов движения мы должны установить, что они были частью более общей концепции: аналогии между человеческим организмом и вселенной. Нижеследующее является характерным утверждением еврейского средневекового философа Моисея Маймонида. В 1194 году он писал:

«Знаю, что вселенная, взятая в целом, есть не что иное, как одно индивидуальное существо... Как один индивидуум состоит из разных твердых субстанций, таких, как мясо, кости, сухожилия, из разных соков и из разных духовных элементов... точно так же и вселенная, взятая в целом, состоит из небесных сфер, четырех элементов и их комбинаций... Центр занимает земной сушей, а она окружена водой, воздух окружает воду, огонь окружает воздух, а воздух опять-таки окружен пятой субстанцией (квинтэссенцией)...»

Более специально Маймонид разработал аналогию между человеческим телом и физической вселенной следующим образом:

«Главная часть в человеческом теле, сердце, находится в постоянном движении и является источником всякого движения в теле... Подобным же образом внешняя сфера своим движением управляет всеми частями вселенной...»

В следующем отрывке Маймонид изложил суть организмической теории движения, подчеркнув аналогию между человеческим телом и вселенной:

«Когда на мгновение биение сердца прекращается, человек умирает и все его движение и сила приходят к концу. Подобным же образом погибла бы и вся вселенная и все перестало бы существовать, если бы сферы остановились»¹.

Эта аналогия между движениями неодушевленных тел, с одной стороны, и движениями людей и животных, с другой, становится для нас очень ясной, если мы заглянем в книгу Аристотеля «О движениях животных». Исследуя вопрос о том, как произошло в мире движение, он замечает, что если не учитывать столкновения неодушевленных тел, то можно установить, что причиной движения являются «одушевленные тела». Простым примером является бросание мяча игроком. Аристотель следующим образом подчеркивает этот момент:

«...все живые вещи и приводят (что-либо) в движение и сами движимы каким-либо объектом, так что это является условием всех их движений, целью, которая имеется в виду. Мы видим, что живое создание движется разумом, воображением, целью, желанием и аппетитом. А все это сводится к разуму и желаниям».

Аристотель сравнивал роль, которую играют желания в движениях людей или животных, с ролью, которую играет неподвижный двигатель (перводвигатель) в движении небесных тел, следующим образом:

«В одном отношении то, что вечно приводится в движение вечным двигателем, движется так же, как и каждое живое создание, в другом же отношении иначе. В то время как небесные тела приводятся в движение внешним образом, движение живых созданий имеет конечную цель».

В своей книге «Физика» Аристотель в такой же мере обсуждает движения животных, в какой и

¹ Moses Maimonides, The Guide of the Perplexed.

движение кораблей. И к тем и к другим он применяет одни и те же общие правила. В § 2 мы видели, что, согласно организмическим законам движения, ни одно тело не может двигаться само по себе; оно должно всегда приводиться в движение другим. Однако может казаться, что человек или животное в состоянии двигаться «само по себе». В своей работе «Физика» Аристотель устранил это кажущееся несогласие, подчеркнув, что у животных, так же как и в кораблях и вещах, организованных неестественным образом, то, что является причиной движения, отделено от того, что испытывает движение, и только в этом смысле [можно сказать], что животное в целом является причиной своего собственного движения.

В более общем виде Аристотель следующим образом поясняет это же самое:

«В целом движении одна часть будет приводить в движение другую, оставаясь неподвижной, другая будет движимой... Далее, если движение в целом движет само себя, то одна часть его будет двигать, другая двигаться. Следовательно, *AB* будет двигаться и само собой и от *A*»¹.

Другими словами, Аристотель думал, что разум или желание двигают тело так же, как — приводя современный пример — машина двигает пароход. Для Аристотеля или Фомы Аквинского действие человеческого желания на движение человеческого тела было таким же, как действие механической «силы» ветра, надувающего паруса корабля. Согласно «организмическим» законам движения, движение человека под воздействием его воли является таким же «физическим» событием, как и движение корабля под воздействием ветра.

После Галилея и Ньютона, когда «организмические» законы движения как физические законы были отброшены, воздействие человеческой воли на движение членов тела и воздействие ветра на движение корабля стали двумя совершенно различными ви-

¹ Аристотель, Физика, стр. 185. Изд.3. М.: URSS, 2007.

дами событий. В первом случае имеет место «воздействие сознания на тело»; во втором же случае — воздействие материи на другую часть материи. «Умственная или духовная сила» отличалась от «физической силы». Часто высказывалось убеждение, что способность нашей воли управлять движениями наших ног «доступна непосредственному пониманию» из нашего «внутреннего опыта», но то, как ветер может приводить в движение корабль, мы понимаем не из непосредственного внутреннего опыта. Поэтому среди ученых принято говорить: если корабль приводится в движение воздействием ветра на его паруса, то это есть факт, который не может быть «понят» философски; это упрямый факт, который просто должен быть принят. Мы, однако, можем углубить наше понимание, подчеркнув аналогию между кораблем и человеком. Мы выражаем эту аналогию, говоря, что ветер прикладывает «силу» к парусам, где слово «сила» напоминает нам о нашей воле, о силе в духовном смысле. Таким образом, духовное понятие «силы» вошло в техническую механику. Самый искушенный инженер сказал бы, что поток воздуха прикладывает «силу» к самолету, и верил бы в то, что, подчеркивая эту аналогию с воздействием нашей «воли» на наши члены, он приобретает «понимание» движения самолета.

Таким образом, имеет место некоторое проникновение «организмических законов движения» в новую механику. Это замечают в каждом классе и в каждой мастерской, где законы движения изучаются или где ими пользуются. Эти пережитки «организмической» науки оправдывались в период ньютоновской механики и позднее как средство «понимания» движения тел. Думали, что без этой аналогии между механической «силой» и «волевым усилием» мы можем вычислить действие механических приспособлений, но не «понять» их. Выражение «понять» в противоположность «только вычислить» обозначает своеобразное психологическое удовлетворение, освобождение от определенного болезненного напряжения. Введение понятия «сила» в механику, очевидно,

дает это удовлетворение только в том случае, если мы примем как само собой разумеющееся, что мы «понимаем» воздействие нашей «воли» на наши ноги лучше, чем действие механической машины на буксирный канат.

Проникновение древней доктрины организмической науки в новую науку не могло быть остановлено, пока не стало ясным, что воздействие нашего волевого усилия на наши мускулы не в большей и не в меньшей степени «доступно пониманию», чем натягивание каната на корабле. Вспомним, как Ньютон в своей полемике с Лейбницем представил действие падающего груза на часы и воздействие человеческой воли на мускулы как два явления одного и того же порядка. В обоих случаях можно было наблюдать закономерное следствие, но процесс действия причины не мог быть «понят». Великим достижением Давида Юма в середине XVIII века было то, что он сделал ясным этот момент и очистил механику от пережитков «организмических» законов.

«Влияние воли на органы нашего тела... есть факт, который, подобно всем другим явлениям природы, может быть узнан только путем опыта и никогда не может быть выведен из какой-нибудь явной, заключающейся в причине энергии или силы, которая связала бы причину с действием и превратила бы второе в неизменное следствие первой. Движение нашего тела следует за повелением нашей воли — это мы сознаем ежеминутно, но средств, с помощью которых это происходит, энергии, благодаря которой вещь производит столь необычное действие, — мы не только не сознаем непосредственно, но они и всегда будут ускользать от самого тщательного исследования¹.

Таким образом, Юм подчеркивает, что воздействие нашей воли на наше тело столь же таинственно, как и то, что мы называем сегодня «телепатией». Он пи-

¹ Д. Юм, Исследование человеческого разума, СПб, 1902, стр. 71—72.

шет, что если бы мы по какой-то таинственной воле оказались в состоянии двигать горами или управлять планетами на их орбитах, то это колоссальное могущество не было бы ни более необычным, ни более превосходящим понимание, чем воздействие нашей души на наше тело. На этом же основании Юм отверг идею, что благодаря аналогии с нашим волевым усилием мы можем «понять» действие механической силы. Он продолжает:

«Из всего этого мы, надеюсь, можем заключить без излишней смелости, но с уверенностью, что наша идея силы не скопирована с какого-либо чувства силы, которое мы сознавали бы в себе, когда начинаем какое-нибудь телодвижение или же употребляем свои члены так, как этого требует их цель, их назначение»¹.

Если мы признаем юмовский анализ нашего мысленного опыта, то пережитки организмической теории полностью исчезнут из научной механики; но они сохранят свою роль, если мы будем держаться за аналогию между механической силой и волевым усилием, не из-за чувства удовлетворения, которое она дает, а ради других выгод, которые мы получаем от организмической аналогии. Мы помним прямое влияние организмической картины мира на наше отношение к религиозным, моральным и социальным традициям. Теперь мы замечаем, что вера в организмические законы движения основывается не на самой науке, а на «метафизической интерпретации науки», которая часто служит практическим целям. Говорят даже, что вера в истинность организмической механики является ядром всех метафизических интерпретаций науки. Огюст Конт в своей книге «Позитивная философия» писал, что душа всякой теологической и метафизической философии заключается в понимании всех явлений по аналогии с единственным явлением, известным через непосредственное сознание, — жизнью.

¹ Д. Юм, Исследование человеческого разума, СПб, 1902, стр. 74.

4. Система Коперника и «организмические» законы движения

На примере геометрии мы видели, что попытка дать непосредственное описание наблюдаемых фактов не является практически полезной и что предпочтительнее сформулировать формальную систему (аксиом), которая описывает наблюдаемый факт косвенным образом. Обзор формальной системы и ее физических интерпретаций является наилучшим описанием наблюдаемых фактов. Мы получили знакомство с аристотелевской теорией движения, в которой каждое движение сравнивалось с движениями организма. В движении земных тел существенными понятиями были начало и конец движения; мало внимания уделялось тому, что происходило между ними. Упор делался на то, в каком направлении должно двигаться тело; цель движения интересовала больше, чем само движение, — это типично для «организмического» взгляда. Главная идея заключалась в том, что движения сами по себе очень сложны, случайны или причудливы, что они не подчиняются каким-либо явным законам. Биологи и физиологи всегда описывали движения живых существ именно так. Мы описываем движение человеческой руки посредством указания начального и конечного ее положения, но не обращаем внимания на точную орбиту, описываемую мускулами и костями. Мы неопределенно говорим о «напряжении» или «расслаблении» мускулов без указания всех промежуточных ступеней.

Некоторые теории в современной физике напоминают нам об этих взглядах. Например, в первоначальной модели атома водорода Бора электрон считался движущимся вокруг ядра по особой устойчивой орбите — при возбуждении он должен был переходить с одной орбиты на другую. В теоретическом отношении представляли интерес только эти устойчивые состояния; при этом не исследовалось поведение электрона во время переходов. Таким образом, мы видим, что упор все еще иногда делается скорее на

цель или результат движения, чем на то, как оно происходит. В древние времена идея о том, что все происходит согласно очень простым законам, что ничто не бывает результатом случая, распространилась на движение небесных тел, движение же земных тел всегда носило случайный характер. Вера в то, что земные существа подчиняются не очень точным и не очень изящным законам, свидетельствует об определенном отношении к вселенной.

Если мы обратимся к сочинениям Коперника, то установим, что даже он все еще находился под влиянием идеи организмической физики. Он исследовал такие вопросы, как вопрос о том, что более достойно для тела — находиться в движении или покоиться. Он считал, что для таких тел, как Солнце, более достойно находиться в покое и давать свет в центре вселенной. Учение Коперника представляет собой переход от физики средних веков к физике нового времени, начало которой, как считают по традиции, положил Галилей. Когда Коперник выдвинул гипотезу, что Солнце покоится в центре вселенной, а Земля описывает круговую орбиту вокруг Солнца и совершает дневное вращение с запада на восток вокруг своего собственного центра, его гипотеза явно находилась в вопиющем противоречии с общепризнанными законами организмической физики. Согласно этим законам, Земля состоит из земной материи и подчиняется законам движения, которые не действовали в мире небесных тел, состоящих из более благородного материала. Поэтому невозможно было, чтобы Земля описывала круговую орбиту вокруг центра вселенной. Земля, это тяжелое тело, должна двигаться прямолинейно к своему «естественному месту», около центра вселенной. Идея, заключающаяся в том, что Земля может находиться на постоянном расстоянии от центра, казалась противоречащей наиболее достоверному опыту человека относительно поведения «тяжелых тел», сделанных из земного материала. Мы могли бы привести некоторые весьма очевидно наблюдаемые факты, свидетельствующие не в пользу гипотезы Коперника: если

мы наблюдаем за плывущими по небу облаками, то должны были бы ожидать, что они будут с общей для них скоростью двигаться на запад, если Земля вращается в направлении на восток; но такого движения облаков на запад не наблюдается. Коперник выдвинул предположение, что вращение Земли в направлении на восток может благодаря трению увлечь за собой атмосферу и облака; поэтому не будет иметь места движение облаков в западном направлении.

Если бы мы стали наблюдать за падающим камнем, то на том же основании должны были бы ожидать, что он упадет к западу от того места, где он был сначала брошен вниз; на самом же деле падающий камень движется вертикально вниз и не обнаруживает отклонения к западу. Коперник возразил, что здесь опять-таки воздух, который движется за Землей к востоку, может увлечь камень за собой; но, так как не могло казаться очень правдоподобным, что воздух может увлечь за собой тяжелый камень, Коперник выдвинул альтернативное объяснение. Он сделал предположение, что «естественное место» куска земли, вроде камня, находится около центра Земли, а не около центра вселенной, каковым было, по его мнению, Солнце. Поэтому падающий камень будет сноситься к востоку, но не благодаря трению воздуха, а потому, что он «притягивается» к своему естественному месту, поверхности Земли. Этим допущением Коперник до некоторой степени предвосхитил ньютоновскую гипотезу всемирного тяготения.

Во всяком случае, для того чтобы сделать гелиоцентрическую систему совместимой с физической наукой, старую «организмическую» теорию движения надо было «смягчить». По правде говоря, у Коперника не было последовательной теории движения. Новая теория, долженствующая заменить «организмические» законы движения, не появлялась до тех пор, пока данные опыта обыденного здравого смысла в отношении неподвижности тел не были сформулированы так, что эта формулировка оказалась гораздо более далекой от законов здравого смысла, чем старая

формулировка, что «тело не может двигаться, если оно не приводится в движение чем-то другим».

Галилей предложил новое обобщение данных нашего опыта здравого смысла. Согласно ему, движущееся тело не останавливается само по себе; оно продолжает двигаться и без непрерывных толчков; на самом деле находящееся в движении тело будет продолжать двигаться с неумещающей скоростью по прямой. Галилей пришел к этому выводу, исследуя движение гладкого тела по гладкой наклонной плоскости (рис. 33).

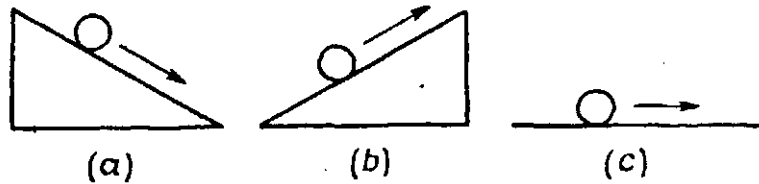


Рис. 33.

Если шар на рис. (a) катится вниз, то его скорость возрастает; если шар на рис. (b) движется вверх, то его скорость уменьшается. Следовательно, рассуждал Галилей, должен быть пограничный случай (c). Если плоскость параллельна поверхности земли (перпендикулярной направлению тяготения), то получивший толчок шар будет двигаться параллельно поверхности земли в постоянном направлении, с постоянной скоростью. Это первоначальная формулировка закона инерции. Она гласит, строго говоря, что тело, движущееся в горизонтальном направлении, сохраняет свою скорость и направление по отношению к поверхности земли. Его путем, очевидно, является только прямая линия, насколько мы можем рассматривать поверхность земли как плоскость. Это значит, что этот закон действителен только в определенных пределах. Он ничего не говорит о движении в мировом пространстве.

Мы здесь не будем вдаваться в историю развития этого обобщения. Мы перейдем прямо к окончательной формулировке закона инерции, как мы находим его в сочинении «Математические начала натураль-

ной философии» Ньютона. Он допустил, что тело, не приводимое в движение чем-либо другим, будет двигаться прямолинейно с постоянной скоростью до бесконечности, если не встретит препятствия. Эта концепция разрушила всю структуру аристотелевской вселенной, в которой «естественное движение» камня было движением к его «естественному месту» во вселенной. Последняя была замкнутой системой кристаллических сфер. Согласно Ньютону, мировое пространство есть пустое пространство, и тела движутся в нем «диким» образом, а не стремятся к своему «надлежащему месту». Вся картина больше уже не представляет собой картины тел, движущихся соответственно их целям и в соответствии с вечными правилами движения.

Новая концепция встретила, таким образом, с очень большими трудностями, когда рассматривалась с точки зрения средневековых представлений о системе мира. Она отбросила понятие «перводвигателя» и разрушила основания, на которых основывались традиционные доказательства бытия бога. Картина мира нуждалась в коренной перестройке не только в области физики, но также и в области теологии и этики. Например, в новой концепции содержалась идея, что тела на небе не отличались от тел, видимых на земле. Христос был послан спасти землю, но если эта земля не отличается от других видимых на небе тел, то почему бог не послал спасителя также и на другие планеты? За защиту веры в множественность миров 17 февраля 1600 года был сожжен Джордано Бруно.

Интерпретация таких вещей, как механика, всегда была связана с попытками политических властей навязать науке определенные принципы. Мы уже видели это у Платона и в средние века.

5. Законы движения Ньютона

Теперь рассмотрим механику, как рассматривали геометрию, с «чисто научной» точки зрения. При сравнении механики с геометрией мы найдем интересные моменты. Относятся ли принципы механики

к внешнему миру или они, как геометрические аксиомы, образуют формальную схему, которая сама по себе не относится к внешнему миру? Вспомним сначала ньютоновские законы: первый закон (закон инерции) устанавливает, что если на тело не действуют никакие внешние силы, то оно будет оставаться в покое, или, если оно находится в движении, оно будет продолжать двигаться с постоянной скоростью по прямой. Второй закон (закон силы) устанавливает, что внешняя сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на вызываемое этой силой ускорение. Напомним, что ускорение имеет место при любом изменении скорости по величине или направлению.

Каков смысл этих двух законов Ньютона? Мы обнаружим, что эти законы в ньютоновской формулировке не содержат их операционального значения. Каково операциональное значение закона инерции? Причиной множества недоразумений среди изучающих физику является то, что большинство учебников не упоминает, что этот закон не имеет смысла, если не дано операционального определения его терминов. Эта же проблема возникает также и при рассмотрении второго закона. Когда мы говорим об ускорении, то «ускорение» в отношении чего? Фактически должно утверждаться «ускорение в отношении определенного тела», но об этом теле ничего не говорится в законе, так что закон этот сам по себе смысла не имеет.

В самых элементарных учебниках и курсах механики термины «прямолинейное движение» и «ускорение» употребляются грубо, даже без намека на то, что должна быть дана физическая система отсчета, к которой эти термины относятся. Другими словами, должно быть более точно указано то физическое тело, по отношению к которому ньютоновские законы, по предположению, справедливы. Если имеется система координат, в отношении которой ньютоновские законы справедливы, то все логические следствия этих законов также справедливы. Мы, однако, не можем на основании такой формальной теории сказать,

с каким телом нашего опыта такая система координат S должна быть связана. Существует много книг, в которых все следствия ньютоновских законов выведены именно таким образом, без точного указания физической системы отсчета S .

Почему это делается? По той простой причине, что практически полезно отделить выведение логических следствий от физической интерпретации системы. Ситуация здесь совершенно такая же, как и в геометрии. Ньютоновские законы играют роль аксиом. В «Аналитической динамике» выводятся условные утверждения следующего типа: «Если ньютоновские законы справедливы по отношению системы отсчета S , то заключения также справедливы в отношении S . Но этим путем мы не можем узнать, что является справедливым в области наблюдаемых фактов. Первым шагом на пути к физической интерпретации является уточнение физического тела, по отношению к которому должны быть определены такие термины, как «ускорение».

Опыт нашей повседневной жизни убеждает нас в том, что таким телом S является наша Земля. Это, очевидно, не всегда истинно. В то время как в большинстве производимых нами экспериментов мы наблюдаем, что если мы толкаем тело, то оно движется по прямой в отношении Земли, на знаменитом маятнике Фуко мы видим, что его движение не сохраняет своего направления в отношении Земли. Здесь наблюдается отклонение от первоначального направления из-за вращения Земли. Хорошим приближением к системе отсчета S , по отношению к которой ньютоновские законы оказываются справедливыми, является система неподвижных звезд. Все значение утверждения, что Земля вращается, заключается в том, что она вращается по отношению к системе S , в которой ньютоновские законы справедливы, а система неподвижных звезд не вращается по отношению к этой системе. Мы можем задать вопрос: что произошло бы, если бы в системе неподвижных звезд не было никакого порядка? Используя неподвижные звезды в качестве нашей системы S , мы утверждаем,

что неподвижные звезды образуют жесткую систему; но на самом деле конфигурации созвездий во времени медленно изменяются. Если бы созвездия распались, то камню было бы, наверно, трудно узнать, что представляет собой та прямая линия, по которой ему предстоит двигаться в результате действия закона инерции. Практически мы можем сказать, что система неподвижных звезд есть система S , в которой сохраняют свою форму законы Ньютона, но если мы считаем вслед за Ньютоном, что закон инерции есть один из самых всеобщих законов природы, то он не может сохранять свою форму лишь в отношении к какой-либо индивидуальной группе тел, таких, как неподвижные звезды. Единственное, что мы можем сказать, это то, что такие системы S существуют также, как в геометрии существуют твердые тела, в отношении которых ее законы справедливы.

Система S , в отношении которой ньютоновские законы оказываются справедливыми, называется «инерциальной системой». Первым приближением к такой системе является Земля, а вторым — система неподвижных звезд. Если мы говорим, что ньютоновские законы абсолютно истинны, то мы говорим только, что мы верим, что инерциальная система существует. В конце концов все, что включает в себя признание ньютоновской теории, есть убеждение в том, что физическая интерпретация ньютоновских законов существует, но сама система является чисто логической структурой. Эта точка зрения была введена Анри Пуанкаре и называется доктриной конвенционализма. Она утверждает, что законы механики являются языковыми соглашениями. Первый закон Ньютона гласит: тело, на которое не действует никакая внешняя сила, движется прямолинейно, но каким образом мы можем узнать, что на тело не действует никакая внешняя сила? Мы можем удостовериться в этом, наблюдая его движение по прямой. Первый закон Ньютона становится, таким образом, соглашением о том, как употреблять выражения «неуравновешенная сила» и «прямолинейное движение». К этому и ему подобным соглашениям нас не принуждают ни

наблюдения, ни логические заключения. В этом смысле они являются «произвольными» соглашениями.

Однако эти произвольные соглашения должны быть также и полезными соглашениями; они вводятся для того, чтобы можно было сделать хорошее описание явлений движения, которые должны быть сформулированы. Правда, ньютоновская система есть чисто формальная система, но такая система, которую можно применять. Новая наука описывает наблюдаемые факты не непосредственно, а посредством использования формальных систем; древняя наука также шла этим путем, хотя это и не так очевидно. Если бы мы пытались описывать наблюдаемые факты непосредственно, мы вынуждены были бы делать это с помощью слов и выражений нашего повседневного языка. Такое описание не имело бы точного смысла, и эта неточность не могла бы быть исправлена посредством выведения точных логических заключений. Если мы хотим вывести строгие логические заключения и получить точные результаты, мы должны употреблять слова без физического значения, то есть символы, как они употребляются в формальных структурах. Тогда мы можем получить точные результаты, как в чисто математической геометрии (гл. 3); но эти результаты не говорят ничего о физическом мире, пока мы не добавим операциональные определения. Тогда эти утверждения получают значение в физическом мире, но их значение снова неопределенно. Процедура новой науки комбинирует методы строгих логических заключений с методом чувственного наблюдения путем ограничения логических выводов рамками формальной системы (аксиомы и теоремы) и получения объекта чувственного наблюдения посредством применения операциональных определений к этой формальной системе.

Одним из первых логиков, правильно описавших отношение формальных систем к физическим законам, был Людвиг Витгенштейн. Он писал о «мире» и ньютоновских законах: «Ничего не говорит о мире тот факт, что он может быть описан ньютоновской

механикой»¹. Этой несколько необычной манерой говорить Витгенштейн хотел сказать, что ньютоновские законы являются формальной системой и без операциональных определений не могут рассматриваться как описания физического мира. Он продолжал:

«Но, однако, о мире нечто говорит то обстоятельство, что он может быть описан ею так, как это фактически имеет место. О мире также что-то говорит и тот факт, что одной механикой мир может описываться проще, чем другой»².

Витгенштейн подчеркивает здесь, что законы Ньютона не являются описанием мира, а механизмом, который может дать такое описание, если его правильно использовать; следовательно, законы механики бесполезны, если не даются указания, как использовать этот механизм. Часть этого указания состоит из операциональных определений терминов, употребляемых в этих законах. Если мы думаем, что все события в мире могут быть выведены из механики, то этот механизм при правильном его использовании должен дать все касающиеся мира истинные положения. Витгенштейн писал: «Механика есть попытка построить по единому плану все *истинные* предложения, в которых мы нуждаемся для описания мира»³.

6. Операциональное определение «силы»

Основополагающий для новой механики закон инерции, рассматриваемый как аксиома формальной системы, имеет очень простой вид. Он гласит: тело, на которое не действует никакая сила, прямолинейно движется с постоянной скоростью. Но этот закон совершенно не дает нам возможности сделать вывод о том, где реальное тело будет находиться в действи-

¹ Л. Витгенштейн, Логико-философский трактат, Издательство иностранной литературы, 1958, стр. 92.

² Там же, стр. 92.

³ Там же.

тельном мире. Он не говорит нам, как мы можем узнать, имеет ли определенное движение эти свойства или не имеет. Мы наталкиваемся на затруднение, когда пытаемся дать операциональные определения «прямолинейному движению», «постоянной скорости» и выражению «не действует никакая сила». Такое определение может быть дано посредством выделения конкретного твердого тела S и выдвигения в качестве условия следующего положения: под «прямолинейным равномерным движением» мы имеем в виду «прямолинейное и равномерное по отношению к S », где S есть некая «инерциальная система» в том смысле, в каком она определена в § 5. Закон инерции не говорит нам, какое тело является инерциальной системой; из него только вытекает, что такая система существует. Найти тело, о существовании которого говорит теоретическая механика, — это задача физики и астрономии.

Второй закон Ньютона говорит о том, какие отклонения от прямолинейного равномерного движения имеют место, если действует какая-либо сила. Это отклонение может быть измерено с помощью вектора ускорения, который мы обозначим через a и который определяется изменением скорости по величине и направлению. Если мы через f обозначим вектор силы, то второй закон Ньютона будет утверждать, что ускорение пропорционально силе, с которой другие тела действуют на данное движущееся тело. Повседневный жизненный опыт делает ясным, что при равных толчках извне «большие и тяжелые» тела ускоряются меньше, чем «маленькие и легкие». Пропорциональность между силой и ускорением должна содержать фактор, который был назван Ньютоном «количеством материи», содержащимся в теле. Этому количеству было дано название «массы» тела. Согласно концепции Ньютона, это количество может быть изменено только в результате прибавления или отнятия некоторого количества; практически это значит изменение через разделение тела на части или через соединение небольших тел в одно большое. Ньютон сформулировал свой второй закон с помощью наипростейшего допущения: сила

равна произведению массы на ускорение. Это можно выразить в виде математической формулы: $ma = f$, где m обозначает массу тела, а a — ускорение, обусловленное действием результирующей внешней силы f . Если мы не ограничиваемся прямолинейными движениями, то ускорение a и сила f суть векторы, имеющие определенную величину и определенное направление. Если мы знаем действующую на тело чистую силу и массу этого тела, то можем использовать этот закон для вычисления ускорения тела и найдем, что $a = f/m$. А зная ускорение, можно вычислить движение тела во времени (поскольку ускорение равно второй производной от пути по времени).

Некоторые считают, как полагал и Пуанкаре, что закон $ma = f$ есть чистое соглашение, что «сила» есть не что иное, как название для ma . В случае отсутствия независимого определения «силы» этот закон, конечно, является чистым соглашением, определением «силы». Чтобы убедиться, что этот закон говорит о нашем физическом мире, необходимо установить, как этот закон применяется на практике. Например, тело может двигаться в небольшом отрезке пространства. Из простого допущения, что f постоянно, следует, что ускорение тела будет постоянным и равным g . Тогда в результате простого математического доказательства следует, что проходимое телом пространство за время t дается выражением $s = \frac{1}{2}gt^2$.

Таким образом, мы можем предсказать, или вычислить, какой путь будет пройден телом за определенное время. Формула $s = \frac{1}{2}gt^2$ может быть проверена и подтверждена экспериментом и наблюдением. Этим наблюдением подтверждается, что простое допущение, что f — величина постоянная, объясняет движение тела под влиянием силы тяготения в небольшой области пространства.

Если же мы исследуем движение под влиянием силы тяготения в большой области пространства, например движение планет вокруг Солнца, то должны допустить, что f не является постоянной величиной,

а задается ньютоновским законом тяготения. Это значит, что величина силы тяготения f , действующей на одно тело со стороны другого, пропорциональна $1/r^2$, где r есть расстояние между телами. Вектор f направлен по прямой, соединяющей эти тела. Отсюда математически можно вывести, что одно тело относительно другого движется по эллиптической орбите. Этот факт был подтвержден наблюдением. Поэтому, если мы имеем простую форму, по которой величина силы f выражается через относительные расстояния r данного тела от других тел (в простейшем случае f есть постоянная), то мы можем использовать закон $ma = f$ для вычисления ускорения и, следовательно, движения тела. Если у нас нет такой простой формулы, тогда $ma = f$ становится абсолютно пустым выражением, а f становится названием для ma . Фактически содержанием ньютоновской механики является не формула $ma = f$, а существование специальных выражений для f , которые должны подставляться в формулу и представлять ускорение тел как простое выражение в терминах расстояния этих тел от других. Это ускорение является, конечно, ускорением в отношении системы, в которой действует закон инерции и которую мы назвали «инерциальной системой». Ускорение тела по отношению к инерциальной системе дается простой формулой в терминах расстояний этого тела от других тел, — это и есть настоящее открытие Ньютона.

В античной физике считалось, что движение тела на земле может быть описано, если известно место, к которому оно стремится. Движение же небесных тел описывалось в виде совершенных кругов. Никому не приходила в голову идея, что движение тела нужно описывать через его ускорение. Кеплер обнаружил, что орбиты планет имеют форму не круга, а эллипсов. Последние, хотя и не были столь совершенными, как круги, все же считались очень близкими к совершенству. Затем было обнаружено, что благодаря воздействию одних планет на другие орбиты планет — даже и не эллипсы (это было бы лишь в том случае, если бы существовали только Солнце и какая-либо

планета). Орбиты представляют собой деформированные, очень сложные кривые, для которых мы не можем дать простого уравнения. Ньютон намеревался дать совершенно иное описание, по которому значение имеет не кривая, а ускорение. Оно же дается простой формулой; оно пропорционально $1/r^2$. Если бы нам пришлось описывать саму кривую, то это было бы весьма сложным делом. Чтобы внести порядок в описание движения, необходимо описывать его в терминах ускорения, причем не какого угодно, а только ускорения по отношению к инерциальной системе.

Мы видим, что определение «силы» получает элемент неопределенности, если мы пытаемся сформулировать его для всех случаев движения. В случае движения в планетной системе мы могли бы просто сказать, что ускорение тела по отношению к инерциальной системе пропорционально сумме членов, каждый из которых обратно пропорционален квадрату расстояния между двумя телами. «Сила», действующая на это тело B , является функцией определенных таким способом расстояний. Если, однако, мы будем учитывать не только силы тяготения, действующие в планетарной системе, но и все возможные силы, то можем сформулировать только следующее обобщение: ускорение тела B в отношении инерциальной системы (S) во всех случаях может быть выражено в виде простой функции расстояний и скоростей B по отношению к другим телам. Эта «простая функция» называется «силой», действующей на B , и должна в формуле $ma = f$ подставляться вместо f .

Конечно, в этом определении силы имеется аналогия с действиями человека. Критерий того, что называется «простой формулой», зависит от психологического состояния определенной социальной группы в определенный период истории; но на практике, при данной определенной ситуации, часто бывает широко распространенным согласие в отношении того, является ли определенная конкретная формула «простой». Если бы такая простая формула не была найдена, нельзя было бы определить и силу. Ньютонский закон силы утверждает, что в каждом отдельном

случае существует формула, которая будет признаваться учеными каждого определенного периода времени «простой»; или он утверждает, что имеется надежда, что интеллектуальные способности в будущем разовьются до такой степени, что ученые найдут формулу, которую они признают как «простую». Из этих соображений ясно, как мы отметили выше, что «фактическое» значение ньютоновских законов связано и в большой степени зависит от психологической и социальной эволюции человечества. Наша вера в простоту этих законов проистекает от того, что мы рассматриваем их только как части формальной системы, в которой они являются лишь определениями, и опускаем их «фактическое» значение.

7. Операциональное определение «массы»

Приведенное в предыдущем параграфе определение «силы» исходило из допущения, что принимается во внимание только одно-единственное движущееся тело *B*. Поэтому рассматривалось только одно-единственное значение «массы», а влияние массы на движение не обнаруживалось. Если же мы будем искать операциональное определение «массы», то должны будем основать это определение на экспериментах, в которых под влиянием одной и той же силы движутся разные тела с разными массами.

Вспомним, что Ньютон определил массу как «количество материи», содержащееся в определенном теле. Использование нами языка опыта обыденного здравого смысла предполагает, что мы очень хорошо понимаем значение утверждения, что в определенном объеме тела содержится определенное «количество материи». Это понятие кажется очень ясным, если мы предполагаем, что «материя» состоит из громадного количества одинаковых очень малых частиц (прежде называемых «атомами»), и поэтому под «количеством материи» в определенном объеме мы имеем в виду совокупность этих одинаковых частиц. Это понятие «массы» как числа «атомов» было знакомо греческим

атомистам и эпикурейцам. Римский последователь учения Эпикура Лукреций писал в своей поэме «О природе вещей» следующее:

...почему мы видим, что многие вещи
Весом тяжелее других, по объему нисколько не меньших?
Ведь копь в клубке шерстяном содержится столько же тела,
Сколько и в слитке свинца, то и весить он столько же должен,
Ибо все книзу давить является признаком тела.
Наоборот: пустота по природе своей невесома.
Так что, копь что-нибудь легче другого того же размера,
Больше в себе пустоты заключает оно, очевидно.
Наоборот: если что тяжелее, то, стало быть, больше
Тела имеется в нем, а порожнего меньше гораздо.
Значит, бесспорно, к вещам примешано то, что стремился
Разумом чутким найти и что мы пустотой называем¹.

Ясно, что определение «массы» как «количества материи» не описывает операций, посредством которых мы можем измерить, какое «количество движения» содержится в определенном движущемся теле. Определение Ньютона — не «операциональное определение»; оно относится к понятиям обыденного здравого смысла. В то же время было доказано, что законы Ньютона очень полезны в прикладной механике. Чтобы физический закон проверить на опыте, все его термины должны быть заменены операциональными определениями. Поэтому Ньютон и все те, кто применял законы Ньютона, в действительности употребляли операциональное определение «массы», что мы и можем обнаружить, проследив, как законы Ньютона в действительности применялись.

Согласно определению силы, рассмотренному в предыдущем параграфе, существует «простая формула», которая приписывает силе, действующей на тело B , значение f , зависящее от внешних условий, в которых существует это тело. Мы можем записать второй закон Ньютона в виде $a = f/m$. Поэтому, если мы имеем два разных тела с массами m_1 и m_2 , то они получают разные ускорения при одних и тех же внешних обстоятельствах. При одних и тех же обстоятель-

¹ Лукреций, О природе вещей, Изд. АН СССР, 1946, стр. 27.

ствах «простая формула» приписывает силам одно и то же значение f . Иначе говоря, два тела с массами m_1 и m_2 имеют разные ускорения a_1 и a_2 , когда получают один и тот же «толчок». Какой бы интенсивности этот «толчок» ни был или каково бы ни было значение силы f , легко видеть, что $f = m_1 a_1 = m_2 a_2$. Если мы сформулируем отношение ускорений, то найдем, что оно не зависит от f . Для двух отдельных тел отношение их ускорений всегда будет одним и тем же; оно зависит не от внешних обстоятельств f , а только от самих тел $a_1/a_2 = m_2/m_1$. Это уравнение становится однозначным определением массы, если мы выбираем произвольную единицу массы (скажем, приписываем кубическому сантиметру воды значение $m = 1$). Это значит, что произведение ma зависит только от внешних обстоятельств, а не от самого тела. Согласно § 6, оно может, кроме того, быть выражено в виде «простой функции» этих внешних обстоятельств. Это и есть основное утверждение ньютоновской механики.

С чисто математической точки зрения $ma = f$ представляет собой математическую формулу, определение f . Мы можем вывести много математических следствий, если добавим формулы, выражающие a посредством увеличения скорости; но, чтобы применить ее к наблюдаемым явлениям, мы должны дать терминам операциональные определения. Операциональное значение массы теперь обнаруживается в отношении ускорений. Если m определяется таким способом, то операциональное определение силы может быть дано уравнением $f = ma$. Это — однозначное определение, потому что ma зависит только от внешних обстоятельств тела и не зависит от его массы m . В этом смысле формула $ma = f$ является, конечно, только «определением» силы, а не фактическим законом, который может быть проверен опытом. Однако если вместо f мы подставим простой закон, рассмотренный в § 6, то отношение, выраженное в формуле $ma = f$, где a обозначает ускорение в отношении инерциальной системы, будет уже не простым определением силы, а законом, относящимся к физическим фактам.

Мы можем различать в механике два аспекта, соответствующие математической и физической геометрии (гл. 1). Под a в ньютоновском законе $m \times a = f$ мы можем иметь в виду ускорение в отношении произвольно выбранной системы S . Тогда, если положения и скорости даны относительно S , мы можем на основании ньютоновского закона вычислить и движение по отношению к этой же системе S . Если, например, силы не действуют ($f = 0$), то мы можем вычислить, что масса m движется относительно S по прямой с постоянной скоростью. Это положение является условным так же, как условны и теоремы математической геометрии. Оно гласит: если ньютоновский закон $ma = f$ справедлив в отношении S и $f = 0$, то из этого следует, что движение относительно S прямолинейно. Это положение истинно всегда, что бы в мире ни случилось; оно чисто логическое. Даже в том случае, если бы не существовало никакой системы S , относительно которой ньютоновские законы были бы справедливыми, и никакой ситуации, при которой сила f исчезает, это положение все равно было бы истинным.

В случае учета второго аспекта рассматриваются конкретные физические системы S , являющиеся «инерциальными системами», и конкретные условия, при которых силы исчезают. Описание этих условий в терминах физических фактов дает ньютоновским законам «операциональное значение». Тогда посредством действительных наблюдений мы можем проверить, находятся ли заключения, выведенные из ньютоновских законов, и их операциональное значение в согласии с опытом. С помощью физических измерений мы можем проверить, является ли движение относительно конкретной физической системы S прямолинейным и равномерным. Если в мире существует физическая система S , являющаяся инерциальной, то законы Ньютона могут быть применимы к физическому миру. Употребление выражения «законы Ньютона истинны» означает, что они применимы, равносильно употреблению выражения «законы геометрии истинны», поскольку они применимы к физическому миру.

Вся система ньютоновской механики зависит от того экспериментального факта, что отношение ускорений двух тел, вызываемых одной и той же силой, не зависит от внешних условий этих тел; в частности, оно не зависит от скорости этих тел. В таком случае мы уверены, что если мы определим массу тела отношением a_2/a_1 , то она будет постоянной. Из ньютоновского определения следует, что масса тела постоянна и не может зависеть от его скорости; это кажется очевидным из представления обыденного здравого смысла, которое вызывается выражением «количество материи». Если мы покупаем какое-то «количество» мяса или холста, то кажется очевидным, что это «количество» является чем-то внутренне присущим мясу или холсту и не может зависеть от скорости. На самом же деле такая «постоянная масса» может быть введена в механику только в том случае, если отношение a_2/a_1 оказывается, согласно нашему опыту, независимым от скоростей участвующих в этом тел. Наш действительный опыт своими объектами имеет тела, движущиеся с малыми скоростями, что значит со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света. Этот обычный опыт показывает, что отношение a_2/a_1 действительно не зависит от скорости тел.

До XX века физики полагали, что a_2/a_1 действительно величина постоянная, какой бы ни была скорость тел. Это будет иметь место только в том случае, если мы допустим, что «истинное для малых скоростей истинно также и для больших скоростей». В XIX веке вера в ньютоновскую механику была настолько крепка, что практически никто не сомневался, что постоянство «массы» является универсальным законом природы. Люди не осознавали, что основой этой веры было или отождествление «массы» с «количеством материи», или опыт, что отношение ускорений a_2/a_1 , вызываемых одной и той же силой, для малых скоростей независимо от скоростей тел. В 1883 году австрийский физик и философ Эрнст Мах опубликовал книгу «Механика», оказавшуюся во многих отношениях важнейшим этапом в нашем понимании законов движения. Мах дал критический анализ

ньютоновской механики и направил внимание ученых на то, что «постоянство массы», если употреблять операциональное определение $m_2/m_1 = a_1/a_2$, есть опытный факт, а не «философская истина», которая может быть получена из интеллигибельных принципов. Существует возможность того, что эксперименты покажут изменение массы под влиянием внешних обстоятельств. И действительно, в конце XIX века Дж. Томсон, исходя из теории электромагнитного поля Максвелла, обнаружил, что частицы массы ведут себя как частицы с электрическими зарядами.

В XX веке движение быстрых заряженных электричеством частиц систематически исследовалось, например, в циклотроне. Если электростатические силы действуют в направлении действительной скорости, то частицы с большой скоростью (то есть со скоростью, сравнимой со скоростью света) получают ускорения, заметно меньшие, чем ускорения частиц, движущихся с малыми по сравнению со скоростью света скоростями, в том же самом электростатическом поле. Это значит, что мы не можем с помощью f/a определить постоянную массу m , которая может быть приписана телу независимо от его скорости. Уравнение $ma = f$, где m — постоянная, не имеет физической интерпретации, которая описывала бы действительное движение частиц с большой скоростью. Изменения в «аксиомах» или «формальных системах», применяющихся к движению таких частиц, более тщательно и подробно будут рассмотрены в гл. 5, где разбирается вопрос об относительности.

В данной же главе эти изменения служат весьма удачным примером, с помощью которого мы можем иллюстрировать логическую структуру науки вообще. Если бы не были сделаны новые наблюдения над движением частиц с большими скоростями, у нас был бы соблазн сказать, что ньютоновские законы имеют «универсальную значимость». Это значило бы, что ньютоновские уравнения в качестве «формальной системы» ($ma = f$, где m — постоянная) могли бы применяться ко всем движениям, которые имеют и

будут иметь место во вселенной. Благодаря этой убежденности в их «универсальной справедливости» могли высказываться такие утверждения, как утверждение, что эти законы суть «действительные законы движения всей вселенной». Теперь мы знаем, что эта «формальная система» является удобным описанием движения только таких частиц, которые движутся с малыми скоростями. Однако даже в наше время нет препятствия к построению ньютоновской «формальной системы» как разработанной теории движения. Таким образом, мы получаем систему «Аналитической динамики», которая содержит утверждения вроде следующего: если мы знаем первоначальное положение движения масс в отношении инерциальной системы S и если ньютоновские законы справедливы для всех скоростей относительно S , то мы можем вычислить положение движения относительно S в любое время t , используя «формальную систему», основанную на ньютоновских законах. Это условное утверждение остается истинным даже и после того, как мы узнали, что ньютоновские законы неприменимы к частицам с большими скоростями. Если же, однако, мы будем исследовать проблему физической интерпретации, то увидим, что наше условное утверждение может иметь правильную физическую интерпретацию, только в том случае, если мы допустим, что скорость частиц мала по сравнению со скоростью света. Если так дело обстоит во всех движениях, то мы можем применять ньютоновские законы, но даже и для самых больших скоростей «условное утверждение остается истинным», потому что оно является чисто математическим или логическим утверждением.

8. Пережитки организмической физики в ньютоновской механике

В аристотелевской физике мир был большим жилым домом, воздвигнутым в соответствии с проектом, по которому этот дом приспособлялся для жизни и смерти человеческих существ. Законы движения были

правилами, согласно которым тела и души передвигались из одной в другую комнату этого обширного сооружения. Живой человек рассматривался как тяжелое тело, и «естественным движением» его тела, когда оно отделялось от души, было падать по направлению к центру Земли; а душа летела, как это было описано в дантовском «Рае», вверх, к небесным сферам. Под «местом тела» Аристотель всегда имел в виду сосуд, в котором это тело содержится. В своей «Физике» он писал, что как сосуд есть перемещаемое место, так и место есть неперемещаемый сосуд. В теориях Коперника и еще более Галилея этот жилой дом потерял свою великолепную простоту; в головы всех, кто был глубоко заинтересован в астрономии, вошло некое разочарование. В качестве примера мы можем процитировать Фрэнсиса Бэкона, который был не ортодоксальным последователем учения Аристотеля, а скорее стойким его противником. Он писал в 1605 году: «Астрономия в ее теперешнем состоянии теряет свое достоинство тем, что относится к математическим искусствам, ибо она должна, по справедливости, составить благороднейшую часть физики».

Организмическая физика, которая воспринималась как удовлетворяющая человеческий интеллект, испытала, однако, гораздо более жестокий удар, когда Ньютон выдвинул в качестве основного закон, трактующий движение тела в пустом пространстве: закон инерции. Этот закон описывает, как тело движется в пустоте. Хотя в противоположность этому утверждению Аристотель писал:

«Ни один предмет не может двигаться, если имеется пустота. Ведь подобно тому как... земля покоится вследствие равномерного окружения, так необходимо покоится и в пустоте, ибо нет основания двигаться сюда больше, сюда меньше: поскольку это пустота, в ней нет различий... Необходимо, если только существует насильственное движение, существовать и природному... но каким же образом может быть движение по природе, если нет никакого различия в пустоте и в бесконечности?.. Или ни один

предмет никуда не будет перемещаться по природе, или, если это происходит, не будет пустоты»¹.

Аристотель доказывает простым способом, что принудительное движение также не может иметь места в пустоте, а затем продолжает:

«Далее, никто не может сказать, почему тело, приведенное в движение, где-нибудь остановится, ибо почему оно скорее остановится здесь, а не там? Следовательно, ему необходимо или покоиться, или бесконечно двигаться, если только не помешает что-нибудь более сильное»².

Ученый XIX или XX века мог бы из этих строк заключить, что Аристотель был очень близок к формулировке закона инерции, но он прочитал бы Аристотеля с точки зрения человека, сформировавшегося под влиянием изучения новой физики. Древний грек нашел идею о том, что тело может равномерно двигаться со своей собственной скоростью до бесконечности, настолько абсурдной, что даже заключил: «Из этих утверждений ясно, что какой-то особой пустоты не существует».

В противоположность этой аристотелевской концепции в ньютоновских «Математических началах натуральной философии» «пустота» является основным понятием. Тело, находящееся в движении, сохраняет свою скорость относительно «пустоты». Ньютон подчеркнул, что этот закон относится не ко всякому физическому телу, с которым связана система отсчета, а к «абсолютному пространству», которое представляет собой то же самое, что Аристотель назвал бы «особой пустотой».

В § 6 и 7 мы показали, что законы Ньютона имеют операциональное значение только в том случае, если система отсчета, инерциальная система, определена. На языке Ньютона это означало бы: к его законам мы должны добавить положение, что неподвижные звезды находятся в покое по отношению к абсолютному пространству. Для Ньютона это обстоятельство

¹ Аристотель, Физика, стр. 84, 85.

² Там же, стр. 85.

было бы как раз несущественным. Что бы ни происходило с неподвижными звездами, любое материальное тело сохраняло бы свою скорость по отношению к абсолютному пространству. Мы скоро увидим, что никаким физическим экспериментом невозможно определить скорость Земли (или любого материального тела) по отношению к абсолютному пространству; следовательно, эта скорость не имеет операционального значения.

Ньютон очень хорошо понимал это затруднение. Для того чтобы «абсолютному пространству» придать операциональное значение, он сохранил некоторые элементы организмической физики. Как предполагалось в аристотелевской физике, что в каждой движущейся небесной сфере имеется божественное существо, так и Ньютон предположил, что абсолютное пространство тождественно «чувствию бога». Это положение интерпретировалось по-разному. Очень ясное представление об этом положении дает дневник Давида Грегори. Этот ученик и близкий друг Ньютона в 1705 году записал беседу о том, что наполняет свободное пространство. Он записал:

«Простая истина заключается в том, что он верит в вездесущность бога в буквальном смысле слова; и что так же, как мы ощущаем объекты, когда их образы попадают в надлежащее место в нашем мозгу, так и бог должен ощущать все, непосредственно присутствуя во всем, ибо он предполагает, что бог присутствует как в пространстве, где нет никакого тела, так и в пространстве, где тело присутствует».

Мы не смогли бы понять логическую структуру ньютоновской физики, если бы игнорировали то обстоятельство, что он использовал в своем законе инерции «организмический» или, как мы могли бы в данном случае сказать, «теологический» элемент. В конце XVIII и в начале XIX века, когда были предприняты попытки очистить физику от всяких теологических элементов, ньютоновская физика стала алогичной. «Абсолютное пространство» стало только словом, без малейших следов операционального значения.

Кроме того, в ньютоновской физике имеется и другой теологический элемент, который был гораздо лучше известен ученым и философам, чем вездесущность бога как основание «инерции». Когда Ньютон применил свою теорию к движению планетной системы, он вывел из своих законов заключение, что планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам, в которых Солнце находится в одном из фокусов. Однако в движении планет имеются и другие закономерности, которые не могут быть выведены из ньютоновских законов: орбиты планет и комет расположены приблизительно в одной плоскости и все вращаются в одном и том же направлении. Ньютоновские законы допускают произвольные начальные положения и скорости и, следовательно, множество закономерностей, которые на самом деле не имеют места. Ньютон объяснил эти закономерности, используя типичные аргументы организмической физики. Он писал:

«Но невозможно уразуметь, что одни только механические причины могут порождать такое множество регулярных движений, так как кометы движутся во всех частях неба по весьма эксцентрическим орбитам... Эта в высшей степени прекрасная система Солнца, планет и комет могла произойти только из замысла и владычества разумного и могучего Существа...»

Ньютону было совершенно ясно, что его «объяснение» закономерностей в действительности заключается в указании близкой аналогии между регулярностью в планетной системе и регулярностью, достигаемой обдуманном планированием в человеческих отношениях. Он продолжал: «Все наши понятия о боге берутся из образа жизни человечества с помощью некоторого подобия, которое, хотя и не является совершенным, имеет, однако, некоторое сходство». Из этой цитаты ясно, что Ньютон объяснял движения планет при помощи аналогии с поведением человеческих существ, так же как это делала аристотелевская физика.

В конце XVIII и в начале XIX века, когда по отношению ко всем доказательствам, основанным на

«организмической науке», возникла оппозиция в умонастроении ученых, были предприняты попытки устранить из ньютоновской физики все пережитки организмического способа мышления. Хорошо известно, что ньютоновские законы движения говорят нам, как предсказывать будущие движения механической системы в определенный момент времени, если дано «начальное состояние», то есть положения и скорости всех масс системы. Эти данные в совокупности с ньютоновскими законами движения необходимы для того, чтобы можно было вычислить будущие движения. Сам Ньютон, как мы видели, предположил, что эти начальные условия определены сверхчеловеческим разумом, в какой-то степени похожим на человеческий разум; если устранить этот разум, то в построении ньютоновской физики образуется брешь. Мы должны тогда сказать, что «начальные условия» не определены, и нам необходимо изобрести или обсудить какой-либо принцип, из которого они могут быть выведены. Как хорошо известно, в конце XVIII века Кант и Лаплас выдвинули гипотезу, что планетная система произошла от вращения газового шара. Закономерности, уподобляемые Ньютоном планированию, подобному тому, которое осуществляет человек, приписываются, таким образом, вращению, которое некогда было общим для всех частей планетной системы. Это значит, что задолго до образования нашей планетной системы первоначальные условия ее тел были такими, что кинетический момент был отличен от нуля и ему соответствовал определенный вектор. Конечно, можно также спросить, как началось это вращение. Мы снова могли бы ввести организмический элемент или предположить другие начальные условия, из которых, согласно ньютоновским законам, могло бы развиваться общее вращение. Было довольно много попыток этого рода, но в любом случае мы должны сделать произвольное допущение о начальных условиях в некий произвольный момент времени. Мы могли сделать «минимальное допущение», что начальные условия описывают беспорядочное движение всех атомов, как допустил последователь учения Эпикура Лукре-

ций в своей книге «О природе вещей». Но допущение о беспорядочном движении также произвольно, а развитие кинетического момента из беспорядочного движения требует тонких и до известной степени спорных вычислений.

Теперь мы оставим проблему устранения теологических пережитков, имеющих место в формулировке начальных условий. Эти гипотезы относительно «начальных условий», или, на обычном языке, о «происхождении вселенной», привлекали внимание главным образом благодаря их «философскому» интересу. Из них мало было извлечено такого, что могло быть проверено на опыте. В то же время оказалось, что попытки устранить организмические и теологические элементы из закона инерции имеют большое значение в области «собственно науки». Они стимулировали поиски новых физических законов.

В § 6 и 7 мы показали, что законы Ньютона имеют операциональное значение только в том случае, если инерциальная система описывается с помощью физических операций. Мы показали, что Ньютон описал ее как «чувствилище бога» и что действительное применение механики было основано на том «случайном факте», что система неподвижных звезд, согласно Ньютону, находится в покое в «абсолютном пространстве». Однако, если мы исследуем две посылки: 1) закон инерции справедлив в отношении абсолютного пространства и 2) неподвижные звезды пребывают в покое в отношении абсолютного пространства, то можем вывести следующее простое заключение: закон инерции справедлив в отношении неподвижных звезд. Таким образом, термин «абсолютное пространство» устраняется из законов движения, а вместе с ним и все организмические пережитки. Говоря языком повседневной жизни, инерция есть тенденция брошенного камня сохранять свою скорость и направление в отношении неподвижных звезд. В таком случае инерция в той же мере, как и тяготение, есть взаимодействие между материальными телами. Этот момент был подчеркнут Эрнстом Махом — сначала в краткой статье в 1872 году, а затем более подробно в книге,

которую мы уже упоминали. В 1883 году он так писал в книге «Механика»:

«Отношение земных тел к Земле может быть сведено к их отношению к отдаленным небесным телам. Если бы мы стали утверждать, что мы о движущихся телах знаем больше, чем это данное в опыте отношение их к небесным телам, мы поступили бы *нечестно*. Поэтому, если мы говорим, что тело сохраняет свое направление и скорость в *пространстве*, то в этом заключается только краткое указание на то, что принимается во внимание *весь мир*. Изобретатель принципа может позволить себе это сокращение потому, что он знает, что осуществление этого указания обыкновенно не встречает никаких затруднений. Но он никак не может помочь, когда такие затруднения все же возникают, когда, например, необходимые неподвижные друг относительно друга тела отсутствуют»¹.

В этом случае устранение организмических элементов привело к открытию новых законов взаимодействия между материальными телами. Эти новые законы образуют ядро эйнштейновской теории тяготения. Более подробно они будут рассмотрены в главах об относительности (гл. 5 и 6).

¹ Э. Мах, Механика, стр. 194.

Глава 5
ДВИЖЕНИЕ, СВЕТ И ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

1. Аристотель, св. Августин и Эйнштейн

Введением понятия абсолютного, бесконечного пространства в качестве основного понятия физики Ньютон внес затруднение, которого не было в науке в период древности и средних веков. В аристотелевской физике была естественная система отсчета — земля как центр сфер вокруг нее. Она обладала также естественными часами, каковыми было вращение сфер. Когда Аристотель говорил о месте тела, он всегда имел в виду то, что мы теперь назвали бы «относительным местом» среди других тел. Аристотель писал:

«Что место есть нечто, это ясно из взаимной перестановки веществ... Ведь в том, в чем сейчас находился воздух, раньше была вода: ясно, таким образом, что было место как нечто (пространство), отличное от них обоих... Далее, перемещения простых физических тел, например огня, земли и подобных им, показывают, что место есть не только нечто, но что оно имеет и какую-то силу. Ведь каждое из них, если ему не препятствовать, несется в свое собственное место, одно вверх, другое вниз... Подобно тому как сосуд есть переносимое место, так и место есть передвигающийся сосуд. Поэтому, когда что-нибудь движется и перемещается внутри движущегося, на-

пример лодка в реке, оно относится к нему скорее как к сосуду, чем как к объемлющему месту... Местом (лодки) является скорее вся река, так как в целом она неподвижна. Таким образом, первая неподвижная граница объемлющего тела — это и есть место»¹.

Вся эта хорошо упорядоченная концепция «места» была разрушена, когда Ньютон развил понятие пространства, в котором не было ни мест, ни границ, ни «неподвижных» контейнеров. Интересно отметить, что в еврейско-христианском мировоззрении было введено однажды абсолютное и пустое пространство: состояние мира до акта творения. Можно отметить, что св. Августин, воспитанный в традициях греческой философии, а потом обращенный в христианство, испытывал некоторое затруднение в процессе приспособления нового учения к своим уже выработанным философским воззрениям. Если вселенная была совершенно пустой до акта творения, то встает вопрос, почему бог медлил столь долгое время, прежде чем решил создать мир. Св. Августин писал в своей «Исповеди»:

«Увлекающиеся летучим воображением блуждают мыслию по беспредельным пространствам времен, которые как бы предшествовали творению. Они удивляются, как это всемогущий бог, вседержитель, творец всего, высочайший архитектор неба и земли, в продолжение бесчисленных веков вечности оставался в бездействии, прежде чем приступил к этому громадному и величественному творению. Пусть эти люди обуздают свое воображение, пусть они отрезвят свой ум и рассудят здраво, как неосновательно и суетно их удивление. В самом деле, как могли протекать бесчисленные века до творения, если ты еще не сотворил их, будучи творцом и создателем всех веков? Какие времена могли бы быть, если ты еще не творил? Как эти подразумеваемые времена могли проходить, если их самих вовсе не было? Ведь ты творец времен, то что же говорят те, которые допускают

¹ Аристотель, Физика, 1937, стр. 69—70, 78. Изд.3. М.: КомКнига/URSS, 2007.

какое-то время до сотворения неба и земли, и что ты в это время, прежде творения, ничего не делал? Кто же мог сотворить время, если не ты? Как могло оно существовать и совершать свои прохождения прежде сотворения своего? Прежде сотворения неба и земли не было и времени, то уместен ли вопрос, что ты делал *тогда*? Без *времени* немислимо и *тогда*»¹.

Грубо говоря, это значит, что в пустом абсолютном пространстве, которое существовало до сотворения мира, времени не было и не имеет смысла спрашивать, что бог делал «тогда», до того как он начал создание мира.

Может быть, полезно сравнить положения св. Августина с некоторыми положениями, которые выдвинул Эйнштейн для того, чтобы в популярной и несколько шутливой форме объяснить основное содержание своей теории относительности. Когда Эйнштейн прибыл в первый раз в Соединенные Штаты в 1921 году, то в Нью-Йоркской гавани его встретила группа журналистов, которые хотели, чтобы он объяснил им в двух словах основное положение его знаменитой теории. Эйнштейн ответил им:

«Если вы не примете мои слова слишком всерьез, то я сказал бы следующее: если мы предположим, что когда-нибудь вся материя исчезнет из мира, тогда, как считали до теории относительности, пространство и время будут продолжать существовать в пустом мире. Но, согласно теории относительности, если бы материя и ее движение исчезли, то больше не было бы ни пространства, ни времени»².

2. «Относительность» в ньютоновской механике

В главе 3 мы узнали, что ньютоновские законы движения, которые определяют ускорение по отношению к «абсолютному пространству», могут использо-

¹ «Исповедь св. Августина», М., 1914, стр. 313—314.

² P h. F r a n k, Einstein, His Life and Times, Ch. VIII, Sect. 5, p. 178.

ваться для предсказания доступных наблюдению фактов только в том случае, если они интерпретируются как относящиеся к «инерциальной системе», с которой может быть связана система физических тел. В первом приближении мы можем отождествить эту систему с созвездиями неподвижных звезд, поскольку можно рассматривать их как жесткую систему. Уже Ньютон ставил вопрос, можем ли мы посредством механического эксперимента, проводимого в определенной лаборатории (гоом), узнать, является ли эта лаборатория инерциальной системой, и если да, то единственная ли это инерциальная система. Если мы через a_{in} обозначим ускорение по отношению к инерциальной системе (S), то ньютоновские законы движения могут быть записаны в виде $ma_{in} = f$, если m — масса тела, а f — ньютоновская сила. Если мы отвлечемся на момент от ядерных сил, которые объясняют движение субатомных частиц, то движение масс средней величины фактически определяется только двумя типами сил — электромагнитными и гравитационными. В первом случае, если масса увеличивается (путем добавления новых частей материи), то ускорение a_{in} будет уменьшаться, согласно формуле $a_{in} = f/m$. При достаточно большом увеличении массы ускорение будет сколь угодно малым. Именно так бывает, если сила относится к электромагнитному типу. Если e — электрический заряд и E — напряженность электрического поля, то $f = eE$ и $a_{in} = e/m \times E$. В некотором данном поле ускорение увеличивающейся массы относительно инерциальной системы будет приближаться к нулю. К электромагнитному типу сил принадлежат все силы сцепления, среди них и силы, которые образуются, если тело испытывает непосредственный толчок или испытывает притяжение. Имеется, однако, и другой тип силы. Со времени Галилея известно, что в случае свободно падающих тел ускорение относительно земли не зависит от массы. Это значит, что f/m не зависит от m или что f — пропорционально m . Если $f = mg$, то очевидно, что $f/m = g$ не зависит от m . Эта гравита-

ционный вид силы. Здесь мы не будем рассматривать этот тип и будем говорить только о силах, которые придают очень большим массам только весьма малые ускорения.

В то время как законы Ньютона дают ускорение a_{in} относительно инерциальной системы, мы будем рассматривать ускорение относительно произвольной движущейся системы («экипаж»), производимое силой f , которой может, например, быть eE . Ради простоты мы можем предположить, что все ускорения и силы имеют одно и то же направление. Обозначим ускорение «экипажа» относительно инерциальной системы (S) через a_{ve} , ускорение тела с массой m относительно инерциальной системы (S) через a_{in} и ускорение тела с массой m относительно «экипажа» просто a постольку, поскольку «экипаж» является произвольной системой, или, как называл ее Аристотель — «движимым местом». В таком случае мы, очевидно, имеем $a_{ve} + a = a_{in}$, а уравнение движения примет вид: $ma_{in} = ma_{ve} + ma = f$, или $ma = f - ma_{ve}$; например, $ma = eE - ma_{ve}$. Если мы будем рассматривать движение относительно произвольно движущейся системы, то ускорение a тела с массой m само по себе не определяется ньютоновской силой (например, eE); необходимо добавить член ma_{ve} , который мы называем «инерциальной силой» f_{in} . Тогда законы движения относительно произвольно движущейся системы выражаются формулой $ma = f + f_{in}$, где $f_{in} = -ma_{ve}$. Мы непосредственно видим, что можно сформулировать законы движения по отношению системы отсчета, не являющейся инерциальной системой, посредством добавления к ньютоновской силе «инерциальной силы» $f_{in} = -ma_{ve}$. Эта сила относится не к электромагнитному, а к гравитационному типу. Если мы разделим уравнение на m , то получим ускорение a относительно произвольной системы отсчета: $a = f/m + f_{in}/m = f/m - a_{ve}$. Если масса является очень большой, то ускорение $a = -a_{ve}$. Поскольку a , очевидно, измеримо с применением обычных измерительных операций, постольку мы можем измерить

также и $a_{ve} = -a$, то есть ускорение любой движущейся системы относительно инерциальной системы.

Как мы помним, Ньютон отождествлял инерциальную систему со своим «абсолютным пространством», которое было не физическим телом, а «чувствилицем бога». Ньютон уже обратил внимание на то обстоятельство, что ускорение очень большого тела относительно произвольной системы отсчета дает нам ускорение этой движущейся системы относительно «абсолютного пространства». Если мы дадим толчок очень большому шару в купе железнодорожного поезда, то из ускорения a шара относительно купе мы можем найти ускорение a_{ve} купе (относительно инерциальной системы). Наиболее обычным является случай вращающейся системы. В этом случае нам не приходится иметь дело с движениями в одном и том же направлении; в каждой точке этой системы ускорение или сила является векторами a или f , которые имеют не только величину, но и направление. Во вращающейся системе ускорение a_{ve} является центростремительным. Следовательно, ускорение a массы относительно движущейся системы является центробежным ускорением по направлению оси вращения. Описывая свой знаменитый эксперимент с ведром, Ньютон рассматривал «центробежное движение» масс как критерий, на основе которого можно было судить о вращении системы отсчета относительно абсолютного пространства. Ньютон поэтому заявил, что «вращение замкнутого пространства относительно абсолютного пространства» приводит к следствиям, которые можно обнаружить с помощью физических экспериментов (явление центробежного движения).

Ситуация будет иной, если «система» движется с постоянной скоростью q по прямой линии относительно инерциальной системы. В этом случае $a_{ve} = 0$, и ускорение относительно этой системы определяется равенством $ma = f$, то есть как если бы эта система была инерциальной системой. В этом случае скорость q данной системы относительно инерциальной системы может иметь произвольное постоянное значение. Это значение не обнаруживается в законе движения,

определяющем a . Поэтому, если даны начальные координаты и скорости всех масс относительно данной системы отсчета, то соотношение $ma = f$, выражающее закон движения, позволяет вычислить все будущие положения относительно этой системы. Знание значения q не является необходимым, и, конечно, путем наблюдения движения относительно данной системы отсчета ничего нельзя узнать о скорости q относительно инерциальной системы. Эта теорема, вытекающая из ньютоновского закона, называется «теоремой относительности» Ньютона. Мы можем сформулировать ее и в положительной и в отрицательной форме. В своей положительной форме она гласит: зная начальные условия движения совокупности масс относительно движущейся системы, мы можем предсказать их будущее относительное движение, не зная скорости q самой движущейся системы. В своей отрицательной форме она гласит: наблюдая движения относительно движущейся системы, мы не можем найти постоянную скорость q этой системы, если только оно движется по прямой относительно инерциальной системы. Мы можем также сказать: система, движущаяся равномерно относительно инерциальной системы S , сама является инерциальной системой, которая может быть названа S' . Из этих положений явно следует, что скорость q системы S' относительно инерциальной системы, или, согласно Ньютону, относительно абсолютного пространства, не может быть получена ни из какого физического эксперимента. Эта скорость q не имеет операционального значения в физике, и Ньютон считает ее имеющей смысл лишь в системе теологии.

3. Ньютоновская относительность и оптические явления

Мы узнали, что с помощью механических экспериментов, осуществляемых в самой движущейся системе, ее прямолинейное движение с постоянной скоростью q не обнаруживается. Теперь мы можем

поставить вопрос, каково будет положение, если мы будем наблюдать *оптические* явления с некоторыми определенными начальными условиями относительно этой же самой движущейся системы (S). Будет ли скорость q прямолинейного движения движущейся системы иметь какое-либо влияние на результаты оптического эксперимента? После больших успехов ньютоновской механики стала господствовать идея, что оптические явления должны объясняться механически. Существовали две теории этого типа, которые обе допускали универсальную справедливость ньютоновской механики ко всем явлениям движения. Согласно первой теории свет состоит из весьма малых корпускул, испускаемых источником света и попадающих в наши глаза. Эти корпускулы точно движутся по законам ньютоновской механики; и поэтому эту теорию называют «корпускулярной теорией света». Согласно второй теории все мировое пространство наполнено тонкой упругой средой, эфиром, который также следовал законам ньютоновской механики. Согласно этой теории, свет состоит в распространении волн в этой среде.

Согласно корпускулярной теории, свет должен распространяться с большей скоростью в воде, чем в воздухе (из-за большего взаимного притяжения к более плотной среде). Согласно волновой же теории в воде свет распространяется с меньшей скоростью, чем в воздухе (согласно ньютоновской механике для твердых и жидких тел, в более плотных телах волны распространяются с меньшей скоростью). В 1850 году французский физик Фуко посредством очень четкого эксперимента доказал, что свет распространяется с меньшей скоростью в воде, чем в воздухе; таким образом, корпускулярная теория, по-видимому, была опровергнута «решающим экспериментом». Волновая теория получила всеобщее признание. Это оказало большое влияние на вопрос, будет ли скорость q в системе, движущейся с равномерной скоростью q , оказывать какое-либо влияние на оптические явления, происходящие в этой системе, или, другими словами, действительна ли ньютоновская теорема относительно-

сти также и для явлений света. Согласно же корпускулярной теории, распространение света не отличается от движения брошенных шаров. Относительно движущейся системы они ведут себя независимо от скорости q , то есть скорости движущейся системы. Теорема относительности была бы справедливой также и для оптических явлений. Но ситуация выглядит иначе, если принять волновую теорию. В этом случае свет представляет собой колебания эфира. Чтобы предсказать распространение света в системе, движущейся со скоростью q , необходимо сделать некоторое допущение относительно того, как движение этой системы влияет на скорость частиц эфира.

Годичная абберация света, идущего от неподвижных звезд, подсказывает гипотезу, что наполняющий мировое пространство эфир находится в покое. Свет, идущий перпендикулярно к направлению скорости Земли на ее орбите, очевидно, отклоняется под углом q/c (угол абберации), где c есть скорость света в вакууме. Тот факт, что этот угол определяется данной формулой при всех обстоятельствах, приводит к предположению, что к колебанию частиц эфира не присоединяется какого-либо движения со скоростью Земли q . Если мы теперь сравним распространение света, испускаемого покоящимся в системе S относительно эфира источником, и движущегося относительно Земли система S' , то начальные условия в механическом смысле оказываются не одними и теми же в обоих случаях. В первом случае начальные скорости частиц эфира являются скоростями малых колебаний. Но относительно системы S' все частицы в добавление к этим скоростям колебания имеют общую скорость q , поскольку система S' движется относительно эфира со скоростью q . Поэтому мы не можем рассчитывать на применение ньютоновской теоремы относительности к распространению света.

Легко видеть, какого рода отклонение от теоремы относительности мы должны были бы ожидать на основе эфирной теории света. От источника света, покоящегося в эфире, система S , свет будет распро-

страняться со скоростью c относительно S . Если источник находится в покое относительно системы S' , то свет будет распространяться также со скоростью c относительно системы S , поскольку эта скорость зависит только от упругих свойств среды, а не от способа возбуждения. Поэтому в отношении системы S' от покоящегося источника в S свет будет распространяться со скоростью $c + q$ или $c - q$ — в зависимости от того, совпадает ли направление скорости q с направлением светового луча или оно противоположно ему. Это выглядит так, как если бы скорость q движущейся системы при равномерном прямолинейном движении S' относительно эфира S оказывала влияние на распространение света относительно движущейся системы, и, с другой стороны, что на основании наблюдения оптических явлений, происходящих в движущейся системе, мы могли бы вычислить q . Попытки проверить эту возможность с помощью эксперимента составляют большую главу в истории теоретической и экспериментальной физики. Было обнаружено, что явления отражения и рефракции не могли дать результатов, которые можно было бы практически наблюдать, не говоря уже об их измерении. Кульминационным было предложение великого английского ученого Джемса Кларка Максвелла. Он выдвинул идею эксперимента, который должен был показать измеряемое влияние скорости q Земли на оптические явления на Земле. Ранее было обнаружено, что ни в каком эксперименте не могут быть обнаружены эффекты первого порядка, то есть зависящие от q/c . В эксперименте, предложенном Максвеллом, могли быть обнаружены только эффекты второго порядка, то есть эффекты, зависящие от q^2/c^2 , тем не менее они были доступны измерению, потому что можно было использовать интерференциальные методы.

Максвелл предложил исследовать отражение света, испускаемого источником, покоящимся относительно движущейся системы, зеркалами, находящимися на расстоянии Z от источника. В этом опыте сравнивались промежутки времени, затраченные све-

товыми лучами, распространявшимися параллельно движению данной системы (Земли) и перпендикулярно этому направлению, соответственно. Если бы эта система находилась в покое ($q = 0$), то каждый из этих промежутков был бы $T_0 = 2L/c$ независимо от направления светового луча. Если же данная система движется со скоростью q , то время путешествия луча, параллельного направлению q , будет $T_p = T_0/(1 - q^2/c^2)$, а перпендикулярного этому направлению — $T_n = T_0/\sqrt{1 - q^2/c^2}$. Это следует только из допущения, что скорость света относительно S (эфира) всегда есть c и что на эфир не влияет движение системы S' , проходящей сквозь этот эфир. Очевидно, что T_n меньше, чем T_p . Разность $(T_p - T_n)$ приблизительно равна $\frac{1}{2} T_0 q^2/c^2 = Lq^2/c^3$. Максвелл показал: поскольку два световых луча, отражаемых от двух разных зеркал, могут интерферировать, постольку разность времени $(T_p - T_n)$ может быть измерена путем сравнения ее с периодом колебаний световой волны. Единственным оставшимся невыясненным был вопрос, будет ли разница во времени $(T_p - T_n)$ в действительном эксперименте превосходить предел допускаемой ошибки. Если да, то она может послужить для вычисления скорости q . Осуществление предложенного Максвеллом эксперимента дало бы окончательное подтверждение получившей распространение теории, что эфир не приводится в движение материальными телами, имеющими скорость q , но передает колебания света со скоростью c .

Предложение Максвелла вскоре после его опубликования (1881) было осуществлено американским физиком Альбертом Майкельсоном; результат оказался отрицательным. Ожидавшаяся разница во времени $(T_p - T_n)$ была больше, чем предел допускаемой ошибки; действительная же доступная наблюдению разница во времени была равна нулю, если не учитывать возможные ошибки. Это могло означать, что скорость q движущейся системы не могла иметь влияния на оптические явления, происходящие в движущейся системе. Другими словами,

это могло означать, что теорема относительности Ньютона должна быть применима также и к оптическим явлениям, хотя (как показал Максвелл) из существовавшей в то время теории эфира и механики следовало, что она не должна быть применима. Большинство физиков, живших в то время, и среди них сам Майкельсон, искали интерпретации в рамках господствующей тогда теории, согласно которой свет есть механическое явление и эфир представляет собой среду, подчиняющуюся ньютоновским законам движения. В пределах этой теории можно было, конечно, изменить положение, что колебания частиц эфира не изменяются под воздействием скорости q системы, движущейся сквозь эфир. Майкельсон и большинство его современников поэтому ухватились за гипотезу Стокса, состоящую в том, что скорости колебания частиц эфира, находящихся на поверхности Земли, складываются со скоростью q . В этом случае, конечно, нет основания для того, чтобы различать T_p и T_n , и теорема относительности оказывалась справедливой, но мы уже отметили, что теорию «эфира, движущегося вместе с движущейся материей», трудно согласовать с абберацией света звезд. Мы могли бы, конечно, изобрести специальные законы движения эфира, которые позволили бы объяснить как абберацию, так и эксперимент Майкельсона, но такая теория была бы очень сложной. Мы можем сказать, что к концу XIX века механическая теория света переживала состояние излишней усложненности и большой запутанности.

4. Электромагнитная картина мира

Эксперимент Майкельсона является примером того, как попытки получить все физические явления, исходя из законов движения Ньютона, завели в тупик. Конечно, не было «доказано», что невозможно рассматривать распространение света как явление механическое, но стало безусловно ясно, что выводы из законов Ньютона должны все же делаться «простым»

способом. Кроме того, существовала широкая область «электромагнитных явлений». В последнем десятилетии XIX века они были выведены из дифференциальных уравнений «электромагнитного поля» Максвелла. Первоначально эти «уравнения поля» рассматривались как уравнения, описывающие специальный механизм, подчиняющийся ньютоновским законам движения; сам Максвелл создал механизм такого рода. Однако вывод электромагнитных уравнений из таких механизмов никогда не был вполне удовлетворительным; все более и более укоренялось предположение, хотя оно никогда и не было доказано, что вывод уравнений поля, который был бы удовлетворительным, невозможен. Наконец в 1889 году Генрих Герц прямо заявил, что теория электромагнитных явлений опирается на уравнения поля Максвелла, точно таким же образом, как ньютоновская теория движения на ньютоновские законы движения. Сведение уравнений поля к уравнениям движения поэтому лишено смысла. В течение некоторого периода физики давали «дуалистическое» изложение своей науки. Одна ее часть рассматривалась как «физика материи»; сюда относились механика, акустика, теплота; другая часть — как «физика эфира», содержащая электричество, магнетизм и оптику. Очень скоро стало очевидным, что такое резкое деление не давало удовлетворительного получения всех опытов, касающихся взаимодействия между движением материальных тел и распространением электромагнитных волн. Таков был очевидный результат неудачи объяснения эксперимента Майкельсона на основе законов Ньютона.

В 1890 году английский физик сэр Джозеф Джон Томсон показал, что частица, имеющая очень маленькую механическую массу, может обладать огромной инерцией, если только ее электрический заряд или скорость достаточно велики. Этот факт, который мог быть получен из законов электромагнитного поля, первоначально сформулирован следующим образом: каждый электрический заряд обладает «кажущейся массой», на поведение которой влияет такая же

сила, как и на «реальную массу». Позднее отважились на гипотезу, что, возможно, никакой реальной массы вообще нет и что инерция есть феномен электромагнитного поля. Из этой гипотезы великий голландский физик Гендрик А. Лорентц сделал вывод, что кажущаяся масса частицы увеличивается с увеличением ее скорости, и притом увеличивается до бесконечности, если ее скорость приближается к скорости света. Если мы будем исходить из «электромагнитной теории массы», то окажется, что всякая масса обладает этим свойством, и мы можем заключить, что скорость света входит в уравнение движения в качестве постоянной. Законы Ньютона должны быть изменены таким образом, чтобы они содержали скорость света. Действие силы на массу зависит от отношения v/c , где v есть скорость массы, а c — скорость света.

Если мы обратимся к эксперименту Майкельсона (рассмотренному в § 3) и подойдем к его объяснению с позиций электромагнитной теории материи, то увидим, что мы можем избежать противоречия между теоретическим выводом и результатом эксперимента. Исходя из законов ньютоновской механики, мы найдем, что $T_n < T_p$, в то время как эксперимент показывает, что $T_n = T_p$. Неравенство вытекало из следующих уравнений: $T_p = T_0 / \sqrt{1 - q^2/c^2}$ и $T_n = T_0 / \sqrt{1 - q^2/c^2}$, где $T_0 = 2L/c$. В этой формуле L обозначает длину каждого из равных плеч интерферометра Майкельсона, когда он находится в покое. Из ньютоновской механики следует, что они остаются равными, когда интерферометр движется с большой скоростью: Если мы предположим, что масса частиц, из которых состоят плечи интерферометра, является «электромагнитной массой» и имеет своим источником электрические заряды, то движение в определенном направлении производит электрические токи в этом же направлении. Силы, с которыми эти токи воздействуют друг на друга, являются причиной натяжения в плечах, которое в свою очередь вызывает деформацию. Лорентц показал правдоподобность допущения, что результатом этих натяжений могло

быть сокращение плеч в направлении движения. Тогда длина обоих плеч в движении была бы неравной. Если мы будем далее обозначать длину движущихся плеч не через L , а через L_p и L_n соответственно, то время отражения будет $T_p = 2L_p/c(1 - q^2/c^2)$ и $T_n = 2L_n/c\sqrt{1 - q^2/c^2}$. Лорентц сделал некоторые допущения относительно распределения электрических зарядов в частицах, из которых он смог вывести, что формулы $L_p = L_0\sqrt{1 - q^2/c^2}$ и $L_n = L_0$ могут быть вполне совместимыми с законами электромагнитного поля. Но тогда мы имеем $T_p = T_0\sqrt{1 - q^2/c^2} = T_n$, что находилось бы в согласии с отрицательным результатом эксперимента Майкельсона.

Мы видим, что из электромагнитной теории материи могут быть получены новые законы движения, которые содержат скорость света c как постоянную и предполагают большие отклонения от законов Ньютона, если v/c приближается к значению, равному 1, но которые являются почти тождественными с законами Ньютона, если v/c очень мало. Если мы примем эти новые законы движения, то сможем объяснить взаимодействие между движением тел и распространением света, как оно проявилось в оптических явлениях в движущихся телах и, в частности, в эксперименте Майкельсона.

Признание «электромагнитной теории материи» было очень важным фактором в эволюции научной и философской мысли. Со времени рождения новой науки (около 1600 года) господствующим мнением среди ученых была вера в «механистическую науку», которая означает веру в то, что физические явления могут быть «поняты» или «объяснены» только в том случае, если эти явления могут быть сведены к ньютоновским законам движения. Очевидно, что электромагнитная теория материи подорвала основание для такого сведения. Начиная с Генриха Герца, было установлено, что необходимо прекратить попытки сведения всех физических явлений к законам механики. Вместо этого было выдвинуто требование,

чтобы все физические факты выводились из законов электромагнитного поля Максвелла. Это означало радикальную переменную в значении понятий «понимание» или «объяснение». Требование сведения к законам Ньютона было выдвинуто потому, что считалось, что эти законы «самоочевидны»; сведение к ньютоновской механике было сведением к интеллигибельным принципам в смысле аристотелевских принципов. Едва ли, однако, кто-либо стал бы думать, что уравнения электромагнитного поля Максвелла самоочевидны или интеллигибельны. Поэтому отказ от механистического объяснения означал также и отказ от требования выведения из интеллигибельных принципов. Уравнения электромагнитного поля Максвелла и гипотеза Лорентца о распределении электрических зарядов в «материальных» частицах были приняты только потому, что наблюдаемые факты, касающиеся движения тел и распространения света, могли быть из них выведены. Критерий Фомы Аквинского для «низшего» типа истины, истины «научной», а не «философской», стал решающим критерием. Принципы физики принимались, если они могли выдержать испытание на логическую состоятельность и эмпирическое подтверждение. Эра механистической физики пришла к своему концу, и начиналась эра логико-эмпирической физики. Грубо говоря, можно сказать, что механистическая эра продолжалась от 1600 до 1900 года и что XX век начался с развития логико-эмпирической концепции науки.

5. Принципы теории Эйнштейна

Ньютоновские принципы движения вытекали, конечно, не из результатов человеческого опыта, касающегося движений, наблюдаемых в повседневной жизни. Они содержали элементы возвышенного воображения, вроде закона инерции. Ньютоновские законы были ближе к повседневному опыту человека, чем законы, выведенные из электромагнитной картины мира. Введение скорости света c в законы движения

касается явлений, очень далеких от наблюдаемых в повседневной жизни, потому что эта скорость не влияет на наблюдаемые движения, если они не обладают скоростями, близкими к скорости света, что не имеет места ни в каком движении, наблюдаемом в области явлений, где справедливы законы технической механики или даже астрономии. С принятием электромагнитной картины была отброшена идея, что общие принципы механики должны отражать наш повседневный опыт, касающийся движений. Это было тесно связано с отказом от требования, чтобы общие принципы были интеллигибельными.

Теперь был расчищен путь для выдвижения новых принципов, которые стали характерными для физики XX века: теории относительности и квантовой теории. Целью науки в XX веке было построение простой системы принципов, из которых факты, наблюдаемые физиками XX века, могли быть выведены математически. Больше уже не требовалось, чтобы эти принципы или какие-либо из их непосредственных следствий находились в согласии с нашим повседневным опытом, или, другими словами, с обыденным здравым смыслом. Требовалась высокая степень логической простоты и согласие с уточненными экспериментами физиков XX века. В 1905 году Альберт Эйнштейн выдвинул свою теорию относительности, которой суждено было стать первым камнем в построении здания физики XX века. Его целью было установить простые принципы, из которых взаимодействие между движением материальных тел и распространением света могло быть выведено без введения гипотезы эфира или гипотезы Лорентца о распределении электрических зарядов в материальных частицах. Новые принципы с логической последовательностью вели к новым законам движения, содержащим скорость света.

Для того чтобы найти эти новые законы, Эйнштейн начал с самого исключительного случая, анализ которого оказался невозможным с точки зрения старых законов движения и распространения света: с эксперимента Майкельсона. Как мы пока-

зали в § 3, этот эксперимент показал, что ньютоновская теорема относительности действительна также и для явлений распространения света, происходящего на движущихся системах, хотя, согласно ньютоновской механике и оптике, этого не должно было быть. Эйнштейн поэтому отважился на гипотезу, что принцип относительности, возможно, является принципом более высокой степени общности, чем ньютоновские законы движения и теория света, основанная на представлении о существовании эфира. Из последней он взял только один общий результат, который, по-видимому, был правдоподобным обобщением наблюдаемых фактов: в мире существует система отсчета F ; в отношении которой свет распространяется сквозь вакуум с постоянной скоростью c , какой бы ни была скорость источника света в отношении F . Этот принцип называется *принципом постоянства* (принцип I). В добавление к нему Эйнштейн выдвинул *принцип относительности* (принцип II), который может быть сформулирован следующим образом: пусть система, F' , движется с постоянной скоростью q по прямой в отношении F . Пусть далее производится любой оптический или механический эксперимент с данными начальными условиями относительно F' . Тогда принцип относительности гласит, что результат эксперимента не зависит от q , или, другими словами, если начальные условия относительно F' даны, то дальнейшее движение и распространение света в отношении F' тем самым определены; они не зависят от q .

Из этих двух принципов могут быть получены результаты, которые, по-видимому, являются парадоксальными или даже самопротиворечивыми. Рассмотрим луч света, испускаемый источником, находящимся в покое в F . Очевидно, что этот свет распространяется в отношении системы F со скоростью c ; этот же самый источник имеет скорость q в отношении F' . Согласно принципу I, скорость распространения этого светового луча будет такой же, как если бы источник находился в покое в F' . Но в этом случае, согласно принципу II (относительности), скорость

распространения относительно F' была бы c . Следовательно, один и тот же световой луч распространяется со скоростью c относительно F и с той же самой скоростью c относительно F' , хотя F' имеет скорость q относительно F . Свет распространяется со скоростью c относительно F или любой другой системы F' , какой бы ни была ее скорость q относительно F . Это значит, что из принципов I и II мы можем вывести самопротиворечивый результат, или, другими словами, что принципы постоянства и относительности противоречат друг другу. На самом же деле это «противоречие» является нелогическим; оно получается только в том случае, если мы к принципам I и II добавим физическую интерпретацию (или операциональные определения) и предположим, что физические тела подчиняются законам ньютоновской механики и что световые волны распространяются в эфире. Коротко говоря, противоречат друг другу система, опирающаяся на принципы (I и II) Эйнштейна, и традиционные законы физики (механики и оптики).

Эйнштейн выдвинул совершенно новую систему физических законов, которая должна была охватывать механику и оптику; она должна была дать иной вывод электромагнитной картины мира в новой и упрощенной форме. Он начал не с дифференциальных уравнений электромагнитного поля Максвелла и не с теории электронов (электрических зарядов) Лорентца, а с принципов постоянства и относительности (I и II). Если мы, как Эйнштейн, допустим, что оба принципа являются справедливыми, то они, очевидно, должны быть совместимыми. А если так, то традиционные законы механики и оптики не могут быть точными. Следовательно, эти два принципа Эйнштейна включают необходимость изменения традиционных законов физики (механики и оптики). Принципы Эйнштейна эквивалентны новой теории взаимодействия между наблюдаемым движением и распространением света. Подробно следствия этой теории будут изложены в следующем параграфе.

6. «Теория относительности» есть физическая гипотеза

Для хорошего понимания теории относительности Эйнштейна самым важным условием является правильно усвоить, как из физической гипотезы можно вывести относительность времени и пространства. Если мы глубоко поймем существо этого вывода, то нас не введут в заблуждение ходячие кривотолки по поводу термина «относительность». Кажущееся противоречие между принципами I и II может вкратце быть сформулировано следующим образом. Возьмем (как в § 5) систему отсчета F' , которая движется относительно основной системы F со скоростью q ($< c$). Далее, возьмем источник света, покоящийся в системе F' , который испускает световой луч в направлении движения F' . Тогда, согласно принципу I, скорость испускаемого света относительно F будет такой, как если бы источник находился в покое в F ; это значит, что данная скорость есть c . Однако, согласно принципу II (относительности), скорость c' света, испускаемого источником в F' относительно F' , является такой, как если бы источник и система F' были в покое в F . Это значит, что $c' = c$. Один и тот же луч света имеет одну и ту же скорость как относительно F , так и относительно F' . С другой стороны, из самых элементарных законов традиционной механики следует, что $c' = c - q$. Это, очевидно, противоречит положению, что $c' = c$, если $q \neq 0$. Однако это не доказывает, что принципы I и II образуют самопротиворечивую систему, а только, что принципы I, II и законы традиционной механики, вместе взятые, действительно образуют самопротиворечивую систему.

Заключения, которые мы выводим из этого «самопротиворечия», целиком зависят от того, рассматриваем ли мы традиционную механику как формальную аксиоматическую систему или как физическую эмпирическую науку. Мы подробно рассмотрели это различие в гл. 3 («Геометрия») и гл. 4 («Законы движения»). Если ньютоновские законы движения

рассматривать как формальную аксиоматическую систему, то из этой системы можно вывести, что $c' = c - q$. В таком случае мы доказали, что два принципа Эйнштейна и аксиомы ньютоновской механики вместе образуют внутреннепротиворечивую систему аксиом. Это было бы аналогично той геометрии, которую мы получаем в результате замены евклидовой аксиомы о параллельных аксиомой Лобачевского, сохраняя в то же время теорему, что сумма углов прямоугольного треугольника не зависит от величины треугольника и равна двум прямым. Тогда, конечно, утверждение планиметрии о прямых линиях и углах образовывало бы внутреннепротиворечивую формальную систему. Это самопротиворечие можно устранить двумя способами — чисто формальным математическим способом и физическим эмпирическим способом. При формальном способе мы можем найти, как нужно изменить утверждения о прямых линиях и углах для того, чтобы получить логически связную систему, которая будет включать вместо аксиомы Евклида аксиому Лобачевского. Чтобы этого достигнуть, необходимо заменить традиционные теоремы о сумме углов в треугольнике более сложной теоремой о том, что сумма углов зависит от площади треугольника и равна двум прямым только для очень малых треугольников. Поступая таким образом, мы ничего не изменили бы в наших утверждениях о физическом мире, а изменили бы только определения прямых линий.

Мы могли бы, конечно, поступить точно так же и в отношении новых принципов I и II Эйнштейна. В этом случае мы могли бы рассматривать выражение $v' = v - q$ как формальную аксиому или определение, которое связывает скорость v в отношении системы F со скоростью v' относительно F' . Если мы заменим эту аксиому новой $v' = (v - q, c)$, то можем достигнуть того, что для $v = c$ получим $v' = c$. Хорошо известная релятивистская теорема сложения скоростей на самом деле выражается следующей формулой: $v' = (v - q) / (1 - vq/c^2)$. Очевидно, что если $v = c$, то следует, что $v' = c$ независимо от q , но это, конечно,

не то, что Эйнштейн имел в виду в своей теории относительности, хотя очень многие изложения этой теории и создают такое впечатление.

На самом деле Эйнштейн не имел в виду, что его принципы I и II будут «определениями» терминов. Существенным пунктом его теории было то, что он добавил операциональные определения к словесной формулировке своих принципов — в частности, определение основного термина «скорость относительно системы отсчета». Таким образом, Эйнштейн превратил свои принципы I и II в физические гипотезы. Это соответствует той концепции геометрии, которую мы в гл. 3 назвали «физической геометрией». Если мы заменим аксиому о параллельных Евклида аксиомой Лобачевского, тем самым изменим и физическую гипотезу. Тогда физическая гипотеза, что сумма углов в треугольнике из световых лучей не зависит от размеров треугольника, противоречила бы новой гипотезе (Лобачевского). Чтобы восстановить совместимость между принципами оптики, необходимо заменить теорему о сумме углов более сложной теоремой, согласно которой сумма углов отличается от двух прямых тем больше, чем больше площадь треугольника. Это значит, что если мы начнем с аксиомы Лобачевского вместе с ее физической интерпретацией, то выдвинем физическую гипотезу о поведении световых лучей. Сказать, что эта гипотеза «справедлива», значит сказать, что световые лучи ведут себя совсем не так, как предполагалось согласно традиционной физике. Сумма углов в треугольнике оказалась бы зависящей от размеров треугольника. Это — положение о взаимодействии между световыми лучами и углами, или, говоря более общо, между световыми лучами и механизмами.

Рассматривая заключения Эйнштейна, мы встречаемся с той же ситуацией, если к принципам I и II Эйнштейна добавим операциональные определения «скорости материального тела и распространения света относительно системы отсчета». Операциональное определение скорости v основано на операциональном определении пространственного расстояния S

и временного промежутка t , поскольку $v = S/t$. Операциональные определения S и t являются стандартами, предписываемыми в учебниках по технике для изготовителей точных инструментов, вроде часов и измерительных линеек. Мы должны задать себе вопрос, включают ли эти операциональные определения некоторые специальные системы отсчета вроде F или F' . Если мы примем как данное, что скорость v , с какой часы или измерительная линейка движутся относительно F , не оказывает влияния на показания приборов, то скорость v не имеет значения для результата измерения. Но в § 4 мы видели, что, согласно теории электронов (элементарных электрических зарядов), выдвинутой Г. А. Лорентцом, движущееся жесткое тело сжимается в направлении движения. Это, очевидно, случилось бы и с движущейся измерительной линейкой. Поскольку пространственное расстояние между двумя точками определяется операцией укладывания измерительной линейки концом к концу, постольку результат измерения зависит от того, находится ли измерительная линейка в покое относительно системы F или имеет скорость v . Выражение «пространственное расстояние относительно F » обозначает результат измерения при употреблении измерительной линейки, покоящейся относительно F , тогда как выражение «пространственное расстояние относительно F' » относится к измерительной линейке, покоящейся в F' и имеющей, следовательно, скорость q относительно F . Точно такое же определение применяется и в случае «временного промежутка». Из теории электронов Лармор вывел, что стандартные часы, движущиеся со скоростью q относительно эфира, отстают от часов, которые покоятся относительно эфира. В операциональное определение временного промежутка относительно системы F' мы должны ввести часы, которые покоились бы в F' и, следовательно, имели бы скорость q относительно F .

Если мы добавим эти операциональные определения к принципам I и II (постоянства и относительности), то противоречие между ними исчезнет. Про-

тиворечие, очевидно, возникает, когда из принципа I (§ 4) мы выводим, что $T_p > T_n$, тогда как из принципа II следует, что $T_p = T_n$. Если к принципам I и II мы добавим упомянутые выше операциональные определения, то отношение, вытекающее из принципа I, приложимо к временному промежутку относительно F , тогда как принцип относительности (II) приложим к временному промежутку относительно движущейся системы F' . Соотношение $T_p = T_n$ приложимо ко времени относительно F' , тогда как соотношение $T_p > T_n$ приложимо ко времени относительно основной системы F . Если мы обозначим временные промежутки относительно F и F' соответственно через T и T' , то будем иметь отношения $T_p > T_n$ и $T_p = T'_n$, которые не являются противоречащими по отношению друг к другу. Основная гипотеза Эйнштейна заключалась в том, что оба принципа I и II выполняются. Из этого допущения следует, что T и T' должны отличаться друг от друга, или, другими словами, что временной промежуток между двумя событиями зависит от скорости часов, с помощью которых этот промежуток измеряется. Если процесс совершается в точке P системы F и длится одну минуту, измеряемую часами в F , то тот же процесс займет меньше минуты, если мы будем пользоваться часами, покоящимися в F' и движущимися со скоростью q относительно F . Строго говоря, длительности одного и того же процесса, измеряемого относительно F и F' , находятся в отношении $1/\sqrt{1 - q^2/c^2}$ (§ 3 и 4). Весьма сходное доказательство может быть приведено и относительно движущихся измерительных линеек. Если мы возьмем две точки, A и B , покоящиеся относительно F' , то расстояние AB будет зависеть от того, будет ли измерительная линейка, с помощью которой мы измеряем AB , находиться в покое в F или F' , или будет иметь некую скорость q относительно F . Обозначим результаты измерения этого расстояния AB через L , если измерительная линейка находится в покое в F , и через L' , если она находится в покое в F' . Тогда из одновременной применимости

принципов I и II мы находим, что L' меньше, чем L . Говоря точнее, $L' = L\sqrt{1 - q^2/c^2}$.

Из принципа относительности мы можем также заключить, что опаздывание движущихся часов касается не только пружинных часов или часов с маятником. То же самое произойдет и в том случае, если мы будем пользоваться любым типом часового механизма, например колебанием электрона в атоме натрия или биением человеческого сердца. Из такого толкования теории Эйнштейна, названной теорией относительности, вытекает, что эта теория является системой гипотез о поведении световых лучей, жестких тел и механизмов, из которой могут быть логически выведены новые результаты об этом поведении. Совершенно неправильно утверждать, как это часто делали, что электромагнитная теория материи является якобы «физической теорией», которая «объясняет» отрицательный результат эксперимента Майкельсона, тогда как теория относительности Эйнштейна не объясняет, а только «описывает» его с помощью «нового определения» «пространства» и «времени». Каждому кажется справедливым, что из новых определений невозможно получить новые факты о поведении жестких тел и световых лучей. В действительности же два принципа Эйнштейна (постоянства и относительности) являются гипотезами именно о таком поведении, и ясно, что из них могут быть выведены теоремы о жестких телах и световых лучах. Конечно, теория относительности Эйнштейна, как и теории электромагнитного поля Максвелла и Лорентца, исходит прямо из гипотез о физических фактах, если не считать того, что факты, предполагаемые в I и II принципах Эйнштейна, имеют гораздо более общее значение, чем факты, выраженные в уравнениях электромагнитного поля Максвелла. Однако мы должны отдавать себе отчет в том, что благодаря введению в них операциональных определений понятий обе теории превращаются в гипотезы о наблюдаемых фактах.

7. Относительность пространства и времени

В философской интерпретации новой физики особое внимание должно быть уделено формулировкам вроде: «Временной промежуток между двумя событиями не имеет абсолютного значения (например, одной секунды), его величина в каждом отдельном случае определяется по отношению к некоторой системе отсчета». «Этот стол имеет определенную длину по отношению к Земле и другую по отношению к Луне, в зависимости от того, находится ли употребляемая измерительная линейка в покое на Земле или на Луне». Философы часто интерпретировали такие утверждения, говоря, что, согласно теории относительности, стол имеет не «объективную длину», а только «субъективную», относящуюся к наблюдателю; но такая интерпретация неправильна. Можно дать лучшую интерпретацию, если несколько больше вникнуть в операциональное значение термина «временной».

Начнем, например, с утверждения, что лекция «длится один час». Это значит, что в то время, как лекция длилась час, стрелка настенных часов повернулась на определенный угол (30°). Сами часы удовлетворяют требованиям технических стандартов, применяемых при изготовлении часов. Конечно, длительность времени не определяется индивидуальными часами; было бы нецелесообразно вводить определение часа, которое зависело бы от индивидуального инструмента измерения. «Длительность» должна быть измеримой даже разными типами часов, например карманными часами и часами с маятником, или даже ритмом человеческого пульса. Операциональное определение «длительности» имеет практическое значение только в том случае, если все эти типы часов дают одни и те же значения. Даже психологическая оценка длительности должна приблизительно совпадать у разных людей. Если длительность измерялась бы различно отдельными студентами и преподавателями или часами на церковных башнях, то определение ее не имело бы значения для взаимоот-

ношений людей в обществе. Согласие между разными типами измерения основывается на справедливости конкретных физических законов. Маятник совершает определенное число колебаний, пружинные часы раскручиваются на определенный угол, определенный объем воды сочится из сосуда, человеческое сердце бьется определенное число раз, аудитория утомляется до определенной степени.

Для того чтобы судить, является ли определенное операциональное определение «практическим» или не является, мы должны знать физические законы, свойственные применяемым операциям. Поэтому каждое открытие новых физических законов заставляет изменять наши операциональные определения, потому что такие определения практически полезны только в том случае, если они позволяют нам сформулировать эти законы простым способом. Очень показательным примером является открытие закона о том, что длина твердого тела увеличивается с повышением температуры. До того как стал известен этот закон, можно было определять единицу времени с помощью периода колебания маятника в один метр длиной. Это опять-таки значит, что стержень маятника при прямом совмещении концов оказался равным стандартному метру в Париже; но благодаря влиянию температуры это определение не будет согласовываться с определением единицы времени пружинных часов или человеческого пульса. При высоких температурах будет гораздо больше биений сердца на единицу времени, потому что период колебания маятника увеличится благодаря удлинению стержня. Для того чтобы устранить двусмысленность в определении времени, мы должны были бы изменить определение единицы времени следующим образом. Единицей времени является период колебания маятника, который может быть совмещен с парижским метром-стандартом при температуре замерзания воды. Употребляя такой инструмент измерения, мы можем недвусмысленно установить, сколько единиц времени будет длиться определенная

лекция. Если мы заменим в определении «температуру замерзания» «температурой кипения», то та же лекция будет длиться другое число единиц времени. В первом случае лекция может длиться 3000 единиц времени, во втором — 3100 единиц. На этом примере мы видим, что операциональные определения должны быть приспособлены к известным физическим законам. Чем больше известно законов, тем сложнее должны быть определения. Вместо того чтобы измерять длительность времени в единицах времени без конкретизации, мы теперь должны измерять ее в единицах времени по отношению к определенной температуре.

Весьма сходная ситуация имела место, когда мы из теории относительности заключили, что длина измерительной линейки и ритма часов зависит от скорости этих измерительных приборов. Тогда утверждение, вроде «продолжительность этой лекции — один час», становится двусмысленным. Оно содержит только то, что в течение лекции стрелка часов поворачивается на угол в 30° ; для того чтобы сделать это утверждение недвусмысленным, мы должны установить, находились ли употребляемые в дело часы в покое относительно F или имели относительно F определенную скорость q . Если часы были в покое относительно системы F' (движущейся относительно F со скоростью q), то кратко результат нашего измерения можно выразить следующим образом. «Продолжительность этой лекции — один час относительно системы F' ». Добавление «относительно системы F' » обозначает такую же конкретизацию метода измерения, как и добавление температуры, при которой измерительный стержень совмещался со стандартным метром в Париже, точно так же утверждение, вроде «этот стол имеет в длину один фут», должно быть конкретизировано посредством добавления «относительно движущейся системы F' », для того чтобы оно не было двусмысленным. Это добавление значит только то, что чем богаче становится наше знание физических фактов или физических законов, тем более сложными должны становиться операциональные

определения, для того чтобы формулировать новые законы простым и практически полезным способом.

Это положение вещей часто описывалось следующим образом: «абсолютная длина» теперь является бессмысленным выражением, имеет же смысл только выражение «относительная длина», поскольку оно помогает формулировать физические законы. Против употребления таких формулировок нет возражений, если мы понимаем их в только что описанном смысле, как достижение в семантике, ставшее необходимым благодаря достижениям нашего познания в области физических фактов и законов. Это выражение не может, однако, значить, что «для науки невозможно» найти «действительную длину» физического объекта и что поиски действительной длины относятся скорее к области «метафизики», или «философии природы». Длина, определяемая в теории относительности, настолько же «действительна», насколько и длина, определяемая в ньютоновской механике. В обоих случаях «длина» определяется с помощью недвусмысленного операционального определения, но из-за того, что релятивистская механика более сложна, чем ньютоновская, операциональное определение «длины» или «длительности» оказывается тоже более сложным. Определение «длины» определяет «действительную длину», если оно полезно для формулирования физических законов.

Мы могли бы, конечно, задать вопрос, можно ли определить «абсолютную длину», и употреблять это понятие для формулирования физических законов, содержащихся в теории относительности. Это относится, в частности, к законам, касающимся зависимости измерений времени и пространства от скорости измерительных приборов. Мы могли бы, например, назвать длину относительно нашей Галактики «действительной длиной», или «абсолютной длиной», физического объекта, а затем назвать длину относительно всякой другой системы отсчета «кажущейся длиной», или «относительной длиной». Но в этом случае мы не смогли бы сформулировать принцип относительности в том простом виде, как он был сформу-

лирован Эйнштейном: «Законы физики имеют одну и ту же форму относительно всех систем F' , движущихся с равномерной прямолинейной скоростью q относительно F'' . Если бы под скоростью мы имели в виду скорость относительно нашей Галактики, то такую краткую формулировку относительности нельзя было бы дать.

«Релятивизация» пространства и времени заключается на самом деле во введении новых операциональных определений, которые лучше приспособлены к действительным нуждам ученого. «Релятивизация» пространства и времени есть достижение в области семантики, а не достижение, как часто говорилось, в области метафизики или онтологии. Мы не можем сказать, что «не существует действительной длины», если мы не начнем с операционального определения длины. Если мы будем сравнивать разные определения длины, то мы не сможем оценивать их согласно тому, соответствуют или не соответствуют они понятию «действительной» длины, а только согласно тому, полезны они или не полезны при формулировании известных законов природы и в поисках новых законов. Было бы неправильным сказать, что, согласно теории относительности, «действительная длина не существует», потому что это утверждение не имеет операционального значения, до тех пор пока понятие «действительной длины», или «абсолютной длины», не имеет значения при формулировании общих физических законов в простом и практически полезном виде. Эти же положения имеют силу и для выражений, вроде «абсолютное время» или «абсолютная скорость».

Наше суждение о полезности таких выражений может значительно измениться, если мы будем рассматривать не только область физических фактов в узком смысле слова (например, движение планет), но требовать также и общей картины мира, включая явления человеческого поведения, представляемые как факты. После того как Коперник выдвинул свою систему, все соглашались, что математически она была более простой картиной планетной системы, чем си-

стема Птолемея. С другой стороны, было также ясно, что коперниковскую систему сделать совместимой с общепризнанной (аристотелевской) философией было сложнее, чем геоцентрическую систему. Это было серьезной трудностью, потому что аристотелевская и томистская философии считались необходимой основой для формулирования религиозных и моральных законов у людей. Вера в то, что эта картина мира поддерживается наукой, внушала верующим чувство большой безопасности. Имеет ли внушение чувства безопасности большее или меньшее значение, чем возможность более простых и практически более полезных формулировок физических законов, является вопросом, который не может быть разрешен в рамках науки в узком смысле слова; он не относится к области математических или физических проблем. Решение этого вопроса может быть получено только в результате исследований взаимодействия между различными областями человеческой деятельности. Например, мы должны исследовать отношение между человеком как творцом науки и человеком как существом, разделяющим политические и религиозные верования. В нашем случае это значит, что полезность выражений, вроде «абсолютное движение», не может быть оценена одной физикой, но должна зависеть от заключений, выведенных из «науки о человеке», например из психологии или социологии.

8. «Исчезновение» и «творение» материи

Помимо учений об «относительности пространства и времени», ничто в теории относительности не вызвало так много толков в «собственно философии», как ее утверждения, что «материя» может исчезать или может создаваться. Мы не должны забывать, что главной мишенью в борьбе, которую «материалистическая» наука вела против традиционной религии, было учение, что «вначале бог создал материю из ничего». Не входя в обсуждение этого философского конфликта, попытаемся понять, в каком смысле мы

можем сказать, что, согласно физической теории относительности, материя может исчезать или может возникать из «ничего».

В главе 4 было отмечено, что в ньютоновской механике «количество материи» измеряется массой тела. Мы узнали, что для каждого материального тела с помощью специальной процедуры измерения может быть определена некоторая постоянная величина — его масса. Мы узнали также, что это определение не будет двусмысленным только в том случае, если ньютоновские законы движения выполняются, иначе не существует постоянной величины, которая отражала бы все свойства, которые, согласно традиционным определениям, должна была бы иметь «масса» тела. Нетрудно видеть, что теория относительности несовместима с допущением, что ньютоновские законы движения универсально справедливы — особенно, что они справедливы для всех скоростей. Мы постараемся, не углубляясь в детали, показать, что в противоположность ньютоновским законам движения материальное тело не может получить ускорение; в результате которого скорость тела увеличивалась бы до скорости, которая равнялась бы скорости света или превосходила бы ее. Это следует просто из того, что мы показали в § 4.

Мы узнали, что из теории относительности, из одновременной справедливости принципов I и II, следует, что эти принципы совместимы только в том случае, если ритм движущихся часов отстает от ритма покоящихся часов в отношении $1/\sqrt{1 - q^2/c^2}$, если q есть скорость движущихся часов, а c — скорость света; но если q превосходит скорость света c , то $q/c > 1$ и $\sqrt{1 - q^2/c^2}$ стало бы мнимым. Было бы невозможно обнаружить какое-либо изменение в ритме часов, которое сделало бы принципы I и II справедливыми одновременно. Поэтому, если мы допустим справедливость этих принципов, то мы исключим возможность того, что материальное тело может получить такое ускорение, что его скорость будет равна скорости света относительно F . Это находилось

бы, однако, в вопиющем противоречии с ньютоновскими законами. Если постоянная сила f действует на тело с массой m , имеющего скорость v , то «количество движения» (mv) увеличивается за единицу времени на количество $\Delta(mv)$, что равно силе $\Delta(mv)/t = f$. Если m есть величина постоянная, то это значит, что $m\Delta v = ft$. Если t достаточно велико, то мы можем достичь любого увеличения скорости $\Delta v = ft/m$. Поэтому мы можем ускорять материальное тело до любой скорости и, следовательно, безусловно, до более высокой скорости, чем скорость света. Это значит, что из применимости принципов постоянства и относительности мы можем заключить, что ньютоновские законы движения не могут иметь универсальной применимости. Они не могут быть справедливыми для тела, имеющего скорость, сравнимую со скоростью света, или, говоря другими словами, они могут быть справедливыми только для малых скоростей, где «малый» значит «малый по сравнению со скоростью света».

Определение массы (количество материи) в ньютоновской механике основывается на применимости ньютоновских законов. Только при этом условии отношение ускорений двух тел при одних и тех же обстоятельствах является постоянным. Если мы выберем одно из этих тел, как обладающее единичной массой, то это отношение будет операциональным определением массы; если же это отношение зависит от действительной скорости тела, то не существует никакой постоянной m , которая имела бы свойство быть равной отношению ускорений. Это значит, что ньютоновское определение массы не имеет в природе ничего ему соответствующего. Оно утрачивает свою полезность в качестве термина в описании физических явлений. Часто говорилось, что теория относительности «доказала», что масса тела является функцией его скорости. Этот способ выражения не совсем правилен и часто служил основанием для критики, направленной против теории относительности. Правильный способ описания этой ситуации приблизительно следующий: операциональное определение массы, упо-

треблявшееся в ньютоновской механике, утрачивает свою полезность и должно быть отброшено. Для того чтобы сохранить последовательность в развитии физической науки, мы снова введем понятие «масса» с помощью операционального определения, которое не может быть тождественным с понятием массы ньютоновской механики.

Поскольку предполагается, что ньютоновская механика справедлива для «малых» скоростей тела, постольку мы могли бы сохранить традиционное определение массы, но ограничить его скоростями, являющимися «малыми» (по сравнению со скоростью света). Тогда масса снова оказывается постоянной и связанной с силой посредством формулы $m = f/a$ или $ma = f$. Мы можем сказать, что с массой в этом ее новом понимании связано сопротивление тела изменению скорости в предположении, что действительная скорость исчезающе мала; иными словами, это есть сопротивление ускорению для покоящегося тела и называется «массой покоя» (m_0). Однако эта масса покоя уже не определяется уравнением $ma = f$, когда скорость возрастает и становится сравнимой со скоростью света. Мы знаем, что для больших скоростей отношение f/m должно уменьшаться, что несовместимо с постоянством m_0 . Если мы хотим, чтобы «масса» сохраняла свойство быть отношением ускорений, как это было в ньютоновской механике (гл. 4, § 7), то мы должны отбросить свойство постоянства и допустить, что масса увеличивается с увеличением скорости.

Однако если мы вникнем несколько глубже в суть выводов, полученных в теории относительности, то обнаружим, что отношение f/a оказывается не одним и тем же, когда сила имеет направление действительной скорости и тогда, когда сила перпендикулярна действительной скорости. Какое же отношение должно называться «массой»? Когда Ньютон ввел понятие «количество движения», или «импульс», определяемого через mv (произведение массы на скорость), то он мог вывести из своих законов, что сумма всех импульсов ($\sum mv$) в системе остается по-

стоянной, если на систему не действуют никакие внешние силы. Благодаря огромной роли этого закона (сохранения импульса) было решено дать название «масса» отношению f/a в том случае, когда f направлено по нормали по отношению к действительной скорости, потому что при таком определении массы m сумма всех mv ($\sum mv$) будет сохраняться при всех взаимодействиях внутри системы, но при отсутствии действия внешних сил. Масса m , определенная таким образом, называется «релятивистской массой». Она возрастает с возрастанием скорости и может быть вычислена по массе покоя m_0 и скорости света c по формуле $m = m_0/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Если v не очень велико, то масса приблизительно выражается формулой $m = m_0 + K/c^2$, где K — кинетическая энергия $m_0v^2/2$ частицы.

Такие же выводы сделаны из электромагнитной теории материи Томсоном, Лорентцом и Абрагамом около 1900 года, еще до того как Эйнштейн выдвинул свою теорию. Но в то время положения ньютоновской механики считались настолько очевидными, что утверждения об изменяющейся массе казались непонятными или насилием над языком, который глубоко проник в наш способ выражений о физическом мире. Массе, которая зависела от скорости v , было дано название кажущейся массы в противоположность действительной массе, которая отождествлялась с массой покоя. На самом же деле вопрос о том, какая из них является «законной наследницей» ньютоновского количества материи, не может быть решен. Масса покоя унаследовала свойство постоянства, тогда как релятивистская масса, определяемая через f/a , унаследовала свойство быть отношением силы к ускорению. Следовательно, вопрос о том, которая из них должна быть объявлена «законной наследницей» ньютоновской массы, может быть решен только исходя из соображений удобства, простоты и т. п.

Оснований для того, чтобы релятивистскую массу $m = m_0 + K/c^2$ по традиции именовать массой, стало еще больше с тех пор, как огромный интерес у уче-

ных вызвало превращение массы покоя в энергию, таящуюся в ядерных процессах. Если мы примем во внимание явления, вроде деления атома урана, то можем задать вопрос, сумма каких масс сохраняется при расщеплении ядра урана: сумма масс покоя или сумма релятивистских масс. Теперь мы очень хорошо знаем не только в качестве вывода из теории относительности, но также и из непосредственных измерений, что сумма масс покоя осколков ядра урана меньше массы первоначального ядра урана. Мы можем строго доказать, что не Σm_0 , сохранялась в процессе расщепления, а $\Sigma m = m_0 + 1/c^2 \Sigma K_0$. Это значит фактически, что если ΣK_0 увеличивается, то Σm_0 должна уменьшаться. Вот что на самом деле происходит: благодаря расщеплению создается возросшая кинетическая энергия осколков и, следовательно, имеет место небольшая потеря массы покоя. Сумма масс покоя Σm_0 не сохраняется в течение реакции. Поэтому масса покоя не имеет главного свойства, которое приписывалось традиционной механикой массе; если бы масса покоя была тождественна массе, то основной закон сохранения массы не имел бы силы. Мы опять стоим перед выбором: или отбросить этот закон, или отбросить отождествление массы с массой покоя. В последнем случае остается больше неизменных теорем ньютоновской физики, чем в первом. Все эти соображения показывают нам, что единственным возможным оправданием для введения утверждений, вроде «масса непостоянна», или «масса может исчезать», является введение нами массы, как объекта, сохраняющего возможно больше свойств старой ньютоновской массы.

Глава 6
**ЧЕТЫРЕХМЕРНАЯ И НЕЕВКЛИДОВА
ГЕОМЕТРИЯ**

1. Ограниченность евклидовой геометрии

Мы видели, что из двух принципов Эйнштейна (постоянства скорости света и относительности) мы можем вывести заключения, касающиеся явлений, происходящих в твердом теле, движущемся с большой скоростью. Если мы допускаем, что эти принципы совместимы, то мы должны также допустить, что твердое тело, движущееся со скоростью v в определенном направлении относительно F , станет короче в направлении движения, но не изменит своего поперечного сечения, перпендикулярного направлению движения.

Вскоре после того, как Эйнштейн выдвинул свою теорию, было показано, что эти результаты не согласуются со свойствами твердого тела, которые до этого считались сами собой разумеющимися. Это можно показать, рассмотрев твердый круглый диск, который вращается с постоянной угловой скоростью ω вокруг оси, перпендикулярной к нему и проходящей через его центр. Если радиус диска есть r , то каждая точка периметра будет двигаться со скоростью $v = r\omega$. Рассмотрим теперь часть диска, заключенную между краем диска и кругом радиуса r' , который немного меньше, чем r . Эта часть имеет форму кругового кольца. Теперь рассмотрим сегмент этого кольца, на-

столько короткий, что он может считаться приблизительно прямолинейным. Движение этого сегмента во время вращения, в течение малого промежутка времени, будет близко к прямолинейному движению стержня. Согласно § 6 и 7 гл. 5, этот стержень сокращается в отношении $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ 1, где $v = \omega r$. Следовательно, весь периметр круга сокращается в этом отношении.

Теперь рассмотрим ту часть диска, которая состоит из узкой полосы по обе стороны некоторого радиуса диска (спица колеса). Во время вращения диска эта полоса ведет себя как стержень, который движется в направлении, перпендикулярном к его длине; следовательно, вращение не сказывается на изменении длины. Таким образом, мы видим, что периметр P круга радиуса r укорачивается при движении, тогда как радиус не меняется. Чем больше r , тем меньше становится отношение P/r . Для очень маленьких радиусов $v = r\omega$ мало по сравнению с c и сокращением можно пренебречь. Это значит, что для малых r отношение P/r имеет значение 2π (где $\pi = 3,14159$). В евклидовой геометрии P/r имеет это значение для всех возможных значений r . Поэтому вращающийся диск, сделанный из материала, который мы определяем в традиционной геометрии как «твердый», не подчиняется законам геометрии Евклида, если мы определяем длину, как она определяется в геометрии Евклида, при помощи последовательного откладывания твердых измерительных стержней.

Этот пример был выдвинут очень скоро после того, как Эйнштейн предложил в 1905 году свою теорию относительности. Из него был сделан вывод, что теория относительности абсурдна, поскольку она несовместима с геометрией на плоскости, но Эйнштейн возразил против этого утверждения, поскольку следует считать, что для вращающегося твердого тела евклидова геометрия несправедлива. Иными словами, не существует «твердых тел», которые вращались бы относительно инерциальной системы, если мы определим твердое тело как тело, подчиняющееся евклидовой

геометрии. При рассмотрении понятия «твердого тела» мы имеем ту же ситуацию, что и при рассмотрении понятия «масса». Не существует тела, имеющего все свойства, которые традиционная физика и геометрия приписывают «твердому телу». Если к аксиомам евклидовой геометрии мы добавим операциональное сопределение «прямой линии», то эти аксиомы станут физическими положениями. В качестве операционального определения прямой линии мы можем взять «ребро твердого куба», причем последний определяется посредством технологических правил, в соответствии с которыми такой куб изготавливается. Тогда аксиомы и теоремы геометрий становятся утверждениями о поведении твердых тел. Но если мы не введем технологических правил производства, то аксиомы геометрии могут рассматриваться как определения «твердого тела». Тогда, согласно традиционной физике и геометрии, существуют эмпирические тела, которые, согласно этим определениям, являются «твердыми телами». Однако, согласно нашему рассуждению в начале этого параграфа, вращающийся диск не удовлетворяет этим законам и не может рассматриваться как твердое тело. Это означает, далее, что не существует твердых тел, удовлетворяющих старому определению, согласно которому твердое тело должно оставаться твердым при всех обстоятельствах, в состоянии покоя или вращения. Это значит, что оно должно было бы подчиняться евклидовым аксиомам при всех обстоятельствах.

Если мы допустим теперь справедливость теории относительности, то твердое тело в старом смысле слова существует только при весьма конкретных обстоятельствах; именно: тело может быть твердым, если оно покоится относительно основной системы отсчета. Теперь, однако, мы можем дать новое определение твердого тела, которое совпадало бы со старым определением в том случае, если тело находится в покое, и по которому для вращающегося тела аксиомы геометрии Евклида заменяются аксиомами неевклидовой геометрии. Отклонение от евклидовой гео-

метрии было бы разным для разных частей вращающегося тела. Около оси вращения отклонение было бы небольшим, тогда как далеко от оси отклонение могло бы быть значительным. Опять мы имеем ту же ситуацию, как и в случае с длиной и массой. Аксиомы геометрии Евклида и законы движения теории относительности несовместимы друг с другом. Мы поэтому стоим перед выбором: или сохранить старое определение твердых тел, которое в таком случае не может относиться к вращающимся телам; или же отправляться от поведения вращающихся тел, в этом случае мы должны ввести новые правила поведения твердых тел, то есть неевклидову геометрию.

И снова мы можем поставить вопрос: какое определение есть определение тела, являющегося «действительно твердым»? Мы могли бы сказать: тело является «твердым», если оно имеет все свойства, которые традиционное определение приписывало «твердому телу». Но тогда мы должны были бы сказать, что тело «не является твердым», когда оно находится в движении. Мы могли бы также назвать тело «твердым», если бы оно, находясь в покое, удовлетворяло аксиомам евклидовой геометрии, а вращаясь, удовлетворяло бы теоремам неевклидовой геометрии, которых требует теория относительности. В этом случае такое тело было бы «твердым» при всех обстоятельствах.

2. Относительность ускорения и вращения

Согласно теории относительности равномерное движение какой-либо лаборатории относительно инерциальной системы F не вызывает в этой лаборатории явлений, при помощи которых можно было бы вычислить скорость v этой лаборатории относительно F . С другой стороны, мы нашли, что ускоренное или вращательное движение системы F' можно обнаружить, наблюдая явления в самой системе F' . Мы могли бы, например, наблюдать действия центробежных сил

отклонения маятника Фуко (сила Кориолиса). Как мы узнали из § 1, можно было найти угловую скорость диска путем обнаружения отклонений от евклидовой геометрии. Очевидно, последнее можно осуществить путем измерения отношения периметра окружности к радиусу P/r для радиусов разной длины. Отношение P/r увеличивалось бы вместе с угловой скоростью.

С тех пор как гипотеза квазиматериальной среды, то есть эфира, была отброшена, вращение относительно системы F значило лишь вращение относительно пустого пространства. Согласно основной идее относительности, равномерное движение некоторой системы относительно пустого пространства не может оказывать никакого влияния на законы физики, в этой системе, но казалось, однако, в системе, находящейся в ускоренном или вращательном движении относительно пустого пространства, влияние этого движения будет сказываться на законах физики в этой системе. Это не казалось невозможным и Ньютону. Он рассматривал «пустое пространство» как некий космический объект, тождественный с «чувствилицем бога», и считал очень правдоподобным, что ускорение относительно этого важного объекта должно привести к доступным наблюдениям следствиям, но ученые, которые стремились изгнать из физики метафизические и теологические доказательства, не хотели признать этот метод объяснения эффектов вращения и ускорения. В 1872 году Эрнст Мах опубликовал критический анализ ньютоновской механики, в котором он подчеркнул, что наши эксперименты с центробежными и кориолисовыми силами, вызываемыми «вращением Земли», фактически показывают, что эти эффекты определяются угловой скоростью ω нашей Земли относительно системы фиксированных звезд (Млечный Путь) и что они не вынуждают нас вводить понятие вращения относительно пустого, или «абсолютного пространства».

Короче говоря, Мах предложил переформулировать ньютоновские законы движения, заменив «абсолютное пространство», или «чувствилице бога», си-

стемой созвездий или звезд, рассматривая эту систему как жесткую систему отсчета. Тогда закон инерции гласил бы, что тело, на которое не действует никакая сила, будет двигаться по прямой линии с постоянной скоростью относительно некоторых фиксированных звезд. Если, с другой стороны, система вращается, как наша Земля, то вращение относительно фиксированных звезд будет вызывать в системе отсчета, с ней связанной, появление центробежных сил и кориолисовых сил. Вращение плоскости маятника Фуко приписывалось бы, например, вращению системы фиксированных звезд вокруг Земли. Поскольку, согласно ньютоновской теории движения планет, силы, действующие со стороны звезд на нашу Землю, пренебрежимо малы и, более того, не имеют направления центробежной силы, постольку предложение Маха сводится к следующей гипотезе: фиксированные звезды оказывают на материальные тела на нашей Земле влияние, которое не может быть объяснено с помощью ньютоновского закона тяготения. Это предположение в то время казалось весьма смелым и даже абсурдным. Великий немецкий физик Макс Планк, создатель самой революционной гипотезы XX века, решительно отверг предложенную Махом формулировку ньютоновской механики. Он определенно одобрял теорию относительности Эйнштейна, но рассматривал теорию Маха, согласно которой вращение плоскости маятника Фуко происходит благодаря действию, исходящему от звезд, как фантастическое утверждение, имеющее свой источник в теории познания Маха. Планк рассматривал маховскую теорию маятника Фуко как явное доказательство абсурдности его философии¹.

Однако Эйнштейн предпринял новый анализ ньютоновской механики, который в конце концов оправдал переформулировку Маха. В то время как в традиционных изложениях поле тяготения рассматрива-

¹ Планк опубликовал его доказательство в статье «On Mach's Theory of Physical Knowledge», «Physikalische Zeitschrift», 1910, Vol. 11, p. 1186 и далее.

лось как только одно из силовых полей, для которых справедливы ньютоновские законы, Эйнштейн указал, что движение в поле тяготения во многих отношениях отлично от движения в электромагнитном и других полях и что, в частности, движение в поле тяготения аналогично движениям относительно ускоренных или вращающихся систем. Эйнштейн начал с «однородного» поля тяготения, где силы имеют повсюду одно и то же направление и величину. Эта ситуация с некоторым приближением имеет место в каждой жилой комнате или лаборатории. Со времен Галилея известно, что масса m падает вниз всюду с одним и тем же ускорением g , какова бы ни была величина массы m . Из общей ньютоновской формулы $a = f/m$ следует, что ускорение обратно пропорционально величине массы. Если же ускорение независимо от массы, то мы должны считать, что сила f пропорциональна массе; это значит, что $f = mg$, а следовательно, $a = f/m = mg/m = g$. В любом другом поле сила f определяется этим полем и не зависит от массы, на которую она действует, а в поле тяготения сила пропорциональна массе m и вызывает поэтому ускорение a , которое не зависит от массы.

Ввиду этого в однородном поле тяготения закон движения является чисто геометрическим. Мы можем предсказать геометрическую форму траектории брошенного снаряда, зная только начальные условия и не зная массы m , в электромагнитном же поле закон движения является «динамическим»; мы не можем в этом случае предсказать геометрическую форму траектории, не зная массы того тела, на которое действует поле. Эта характерная особенность движения в поле тяготения имеет место также для движений в отношении ускоренных или вращающихся систем F' . Если система отсчета является инерциальной системой и если в ней никакая сила не действует на массу m , то мы можем предсказать геометрическую форму траектории; она будет прямой, какова бы ни была масса. Если же система имеет постоянное ускорение относительно инерциальной системы, то траектория будет параболой, какова бы ни была масса.

Если, наконец, система вращается, то масса будет описывать траектории, определяемые «центробежными силами». Во всяком случае, если не действует никакая сила, то геометрическая форма траектории определяется ускорением этой системы, причем масса движущегося тела роли не играет. Отсюда видно, что поведение массы относительно ускоренной системы, если не действует никакая сила, вполне аналогично поведению массы относительно инерциальной системы под воздействием поля тяготения. Исходя из рассмотрения подобного рода случаев Эйнштейн выдвинул свой общий принцип эквивалентности. Он гласит, что всякое движение относительно ускоренной системы (в самом широком смысле этого слова) может быть интерпретировано как движение относительно инерциальной системы под влиянием некоторого поля тяготения.

Таким образом, на основе этого принципа увязываются две проблемы: общая теория движения в поле тяготения и общая теория движения относительно системы F' , которая не является инерциальной. Теория, которая предлагается для решения этих проблем, называется *общей теорией относительности*¹, она является также и общей теорией тяготения. В «специальной» теории относительности скорость системы не могла быть определена из наблюдения физических явлений, происходящих в этой системе. В «общей» теории относительности ускорение или скорость вращения тоже не могут быть вычислены. Ибо, согласно принципу эквивалентности, каждое явление, которое может быть обусловлено ускорением системы, может также быть обусловлено и некоторым полем тяготения. Если мы наблюдаем проявления центробежной силы, например сплющивание вращающейся жидкости, то мы с одинаковым успехом можем сказать, что она вращается относительно инерциальной системы или что она находится в покое в инерциальной си-

¹ В 1915 году Эйнштейн изложил в «Berichte der Preussischer Akademie» в окончательном виде общую теорию относительности. Он ясно осознал, что силы Маха, исходящие от вращающейся системы фиксированных звезд, действительно являются силами тяготения.

стеме и сплющивается под воздействием силы тяготения вращающейся сферы скопления звезд.

Согласно ньютоновской механике и «специальной» теории относительности Эйнштейна, скорость системы F' относительно F не влияет на механические и оптические явления в системе F' . Это положение вещей часто выражают следующим образом: «не существует абсолютной скорости» или «всякая скорость относительна». Согласно общей теории относительности Эйнштейна, вращение или ускорение системы F' не может быть определено на основе явлений, происходящих в системе F' . Это положение часто формулируется таким образом: «не существует абсолютного ускорения или абсолютного вращения». Этот способ выражения аналогичен некоторым заимствованным из повседневной жизни, таким, как «не бывает трехголовых телят». Подобными утверждениями теория относительности, как может показаться, отрицает существование некоторых «сущностей», обедняет наш мир и делает утверждения физической науки более неопределенными и менее непосредственными. На самом же деле такое утверждение, как «не существует абсолютного вращения», обозначает только то, что термин «абсолютное вращение» нельзя так легко применять в рассуждениях, которые имеют целью дать простую формулировку законов физики. Этот момент особенно важен для понимания «философских» рассуждений. Часто приходится сталкиваться с утверждениями, вроде «душа существует», или «материя не существует», или «не существует свободы воли», которые все имеют синтаксическую форму выражения «не существует трехголовых телят». Если мы поймем подлинный физический смысл выражения «не существует абсолютной скорости» или «абсолютного вращения», который в них вкладывается теорией относительности, то мы сможем понять также и то, как понимать смысл философских утверждений о материи и душе. Смысл утверждений о сознании, или душе, недавно был исследован и ясно изложен оксфордским философом Гилбертом Райлом.

3. Кривизна пространства

Из § 1 мы узнали, что вращающийся твердый диск не подчиняется евклидовой геометрии; чем больше угловая скорость, тем больше отклонение от евклидовой геометрии. Это значит, что чем больше угловая скорость, тем меньше площадь единичного треугольника. Более того, если дана угловая скорость, то отклонения становятся больше с увеличением линейной скорости $v = r\omega$. Это значит, что отклонения от евклидовой геометрии в некоторой области диска (вращающегося с угловой скоростью ω) тем больше, чем более удалена эта область от оси вращения. Это в свою очередь значит, что площадь единичного треугольника зависит от его расстояния до оси. В то время как в неевклидовой геометрии, рассмотренной в гл. 3, § 6, единичный треугольник имеет одинаковый размер во всей плоскости, в нашем случае он различен в разных частях плоскости. Отклонение от евклидовой геометрии измеряется по отклонению суммы углов треугольника от двух прямых. Если эти углы α , β и γ , то «дефект» Δ определяется как $180^\circ - \alpha + \beta + \gamma$. Поскольку дефект зависит от площади треугольника, то полезно ввести величину Δ/A , где A есть площадь треугольника с дефектом Δ . Эта величина $K = \Delta/A$ называется «кривизной пространства». Как мера отклонения от евклидовой геометрии, она зависит только от расстояния рассматриваемой области до оси вращения и не зависит от площади.

Выше мы узнали, что вследствие вращения геометрия на твердом теле становится неевклидовой. Мы знаем из § 2, что всякий эффект, который может быть вызван вращением тела, может также быть обусловлен полем тяготения в невращающемся теле. В качестве примера мы рассмотрели центробежные явления на Земле, которые обычно описываются как эффект вращения Земли относительно неподвижных звезд. Согласно принципу эквивалентности Эйнштейна, они также могут рассматриваться как эффект масс, вращающихся вокруг покоящейся Земли. Точно так же отклонение от неевклидовой геометрии во вращаю-

щемся диске можно объяснять, если предположить, что диск покоится и что вокруг диска вращаются большие массы, которые создают поле тяготения. Тогда отклонения от евклидовой геометрии являются эффектом этого поля тяготения. В окрестности больших масс, где поле тяготения сильно, будет иметь место бóльшая кривизна пространства; единичный треугольник будет малым.

Мы должны избежать некоторых недоразумений, возникших в связи с влиянием тяготения на геометрию пространства и обязанных своим происхождением философии, оторванной от науки. Первая трудность имеет своим источником выражение «кривизна пространства». Легко понять, что «поверхность» может быть «искривленной в пространстве», то есть что она может отклоняться от плоскости; но как само трехмерное пространство может быть искривленным? Эта трудность возникает из двусмысленного значения слова «кривизна». Если мы рассмотрим поверхность сферы, то можно измерить ее кривизну двумя способами. Мы можем измерить ее посредством измерения отклонения сферы от касательной плоскости, или рассмотрением треугольника, начерченного на сфере с измерением отклонения суммы его углов ($\alpha + \beta + \gamma$) от двух прямых. На сфере ($\alpha + \beta + \gamma$) будет больше чем два прямых угла. Этот «избыток» треугольника ($\alpha + \beta + \gamma$) — 180° , деленный на его площадь, равен кривизне сферической поверхности. Мы можем, таким образом, измерить эту кривизну двумя способами. Если мы будем рассматривать физический треугольник (из световых лучей или твердых стержней) в пространстве, то мы можем измерить «дефект» или «избыток» в разных местах пространства и получить таким путем «кривизну» пространства. Однако непосредственное измерение этой кривизны как кривизны искривленной поверхности невозможно. Я могу сравнивать искривленную поверхность с плоскостью, поскольку обе находятся в одном и том же трехмерном пространстве. Этим способом я могу наблюдать отклонение искривленной поверхности от плоскости и назвать это отклонение «кривизной», но я не могу

наблюдать помимо нашего «трехмерного искривленного пространства» еще и «трехмерное плоское пространство», которые оба расположены в одном и том же «четырёхмерном пространстве», и найти отклонение искривленного пространства от плоского пространства. Я могу, однако, в «искривленном трехмерном пространстве» построить поверхности и треугольники на этих поверхностях. Затем я могу измерить сумму углов этих треугольников и узнать, равна ли сумма их углов 180° независимо от их размеров. Если имеется отклонение суммы $(\alpha + \beta + \gamma)$ от 180° , то есть «дефект» или «избыток», даже если поверхности «плоски», насколько это возможно, все равно покажет нам, что наше пространство «искривлено».

Кривизна трехмерного пространства означает поэтому наличие «дефекта» или «избытка» у треугольников, то есть, другими словами, отклонение от евклидовой геометрии. Кривизну можно, таким образом, измерять и наблюдать с помощью метода, который применяется также и для измерения кривизны сферической поверхности в нашем обычном пространстве. Но второй способ измерения, то есть измерение отклонения от плоскости, не может быть применен к «искривленному пространству». Таким образом, здесь имеет место та же самая ситуация, что и раньше — после обнаружения, что в поле тяготения евклидова геометрия несправедлива, мы вводим термин «кривизна пространства» для того, чтобы удобным способом описать это поле тяготения. Эта «кривизна», как мы выяснили, имеет точное операциональное значение. «Кривизна пространства» может быть измерена разного рода операциями, которые все дают один и тот же результат, но только часть этих определений аналогична операциональному определению искривленных поверхностей.

Было бы совершенно неправильным утверждать, что «кривизна пространства» вводит в физику такой элемент, который не может быть описан при помощи измерений, производимых над обычными телами, сде-

ланными из стали, дерева или камня. Были и попытки интерпретировать введение искривленных пространств как введение в физику духовных элементов.

4. Является ли мир действительно четырехмерным?

Если придерживаться классической физики, основанной на ньютоновской механике, то мы можем описывать все, что происходит во вселенной, при помощи «точек-событий». В декартовой системе отсчета F каждое событие имеет место в некоторой точке x, y, z в некоторый момент времени t , показываемый часами, расположенными в этой точке x, y, z . Мы говорим, что эта «точка-событие» имеет координаты x, y, z, t относительно системы F . Классическая теория описывает движение, представляя x, y, z как функции t ; это соответствует движению по кривой в обычном трехмерном пространстве. Каждой точке x, y, z приписывается определенное значение t . Мы можем также интерпретировать уравнение $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ как некоторую кривую в четырехмерном x, y, z, t пространстве. Движение по кривой в трехмерном пространстве математически эквивалентно некоторой статической кривой в четырехмерном пространстве. В этом смысле великий французский математик Лагранж уже называл механику «геометрией четырех измерений». Каждая материальная точка описывает некоторую траекторию в нашем трехмерном x, y, z пространстве. В определенный момент времени $t = t_0$ материальные точки находятся в некоторой части нашего трехмерного пространства, в другие моменты они занимают уже другие части этого пространства.

Были предложены и другие способы описания этих же фактов. Мы изображаем каждое «событие» точкой в четырехмерном x, y, z, t пространстве. Это возможно потому, что каждое событие описывается при помощи четырех приписываемых ему чисел x, y, z, t . Тогда каждое положение материальной точки в точке x, y, z в момент времени t является «событием». Можно было бы сказать, что четырех-

мерный континуум со всеми его событиями существует вечно. Наша жизнь представляет собой только изменение места (фактически изменение плоскости $t = \text{const}$) в четырехмерном пространстве, где мы и встретим события, которые ожидают нас. Эту ситуацию можно пояснить примером с кинолентой. Вместо того чтобы привести эту ленту в движение относительно себя, наблюдатель может двигаться относительно ленты и будет получать те же самые впечатления, как и при обычном движении ленты.

Мы могли бы утверждать, что «действительная» вселенная есть вселенная четырехмерная, существующая сейчас, в данный момент. Это значит, что будущее «существует» сейчас и все, что мы делаем в течение нашей жизни, сводится к тому, что мы движемся сквозь четырехмерный континуум и постепенно осознаем его трехмерные поперечные сечения. Очевидно, что каждому моменту времени t соответствует одно поперечное сечение четырехмерного континуума. Этот способ выражения имеет один явный недостаток: если «сейчас» значит $t = t_0$, то будущий момент времени $t = t_1$ определяет другое поперечное сечение четырехмерного континуума. Сказать, что четырехмерный континуум «существует сейчас», значит, что все поперечные сечения «существуют сейчас», или, другими словами, что поперечное сечение $t = t_0$ тождественно с поперечным сечением $t = t_1$. Иначе оно не могло бы существовать «сейчас». Если мы допускаем этот двусмысленный способ выражения, то положение, что «четырёхмерный пространственно-временной континуум» существует всегда и что мы только проходим сквозь него, утверждает не больше, чем положение, что трехмерный пространственный континуум изменяется во времени.

Когда в 1905 году Эйнштейном была предложена теория относительности, скоро было обнаружено, что принципы и теоремы этой теории могут быть очень удобно сформулированы с помощью четырехмерного пространственно-временного континуума мира событий. Это заметил в 1908 году и четко сформулировал Герман Минковский. Рассмотрим два события:

x_1, y_1, z_1, t_1 и x_2, y_2, z_2, t_2 . Под x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 мы понимаем координаты в системе отсчета F , которые измеряются линейками, покоящимися в системе F . Точно так же t_1 и t_2 суть промежутки времени, измеренные часами, покоящимися в системе F . Из этого, однако, не следует, что сами эти события как-то связаны с системой F . Это может быть удар молнии, имевший место в момент времени t_1 в точке x_1, y_1, z_1 системы F . Эти два события разделены пространственным расстоянием

$$S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

и временным промежутком $T = (t_2 - t_1)$. Каково «операциональное определение» промежутка $(t_2 - t_1)$? Символы $(t_2 - t_1)$ обозначают разницу в показаниях двух одинаковых часовых механизмов, покоящихся в системе F . Эти часы можно сверить друг с другом, поместив их прежде в начало координат и обнаружив, что они ходят одинаково. Однако каким образом поместить их в точки x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 соответственно? Мы знаем (из гл. 5, § 7), что ход часов находится в зависимости от скорости, с которой они движутся. Попробуем поэтому поместить часы в точки x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 , передвигая их очень медленно, со скоростью, почти равной нулю. Если мы пользуемся такими часами, то законы физики становятся простыми и практически полезными. Тело, на которое не действует никакая сила, движется от точки P_1 к точке P_2 с постоянной скоростью; луч света, испускаемый в точке P_1 , идет к P_2 с постоянной скоростью c и т. д. В данном случае мы говорим, что такие часы синхронизированы. Однако в описании метода синхронизации часов мы говорим о часах, которые движутся бесконечно медленно относительно системы отсчета F . Поэтому определение «синхронизированы» оказывается недвусмысленным только тогда, если мы конкретизируем его, сказав «синхронизированы относительно системы F ».

Если мы теперь рассмотрим движущуюся систему F' , которая имеет скорость q относительно

системы F , то мы сможем описывать одни и те же события и в системе F' . Это значит, что линейки и часы находятся в покое в системе F' . Обозначим пространственно-временные координаты тех же двух событий относительно F' через x'_1, y'_1, z'_1, t'_1 и x'_2, y'_2, z'_2, t'_2 . Назовем опять расстояние $S' =$

$$= \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2 + (z'_2 - z'_1)^2} \quad \text{пространственным, а } t'_2 - t'_1 = T' \text{ — промежуткам времени между двумя событиями.}$$

Согласно принципам теории относительности Эйнштейна, каждый световой луч имеет скорость c относительно F , а также и относительно F' . Поэтому $S/T = c$ и $S'/T' = c$. Это значит, что если $S^2 - c^2T^2 = 0$, то также и $S'^2 - c^2T'^2 = 0$. Легко показать, что это может быть так, только если $S^2 - c^2T^2 = S'^2 - c^2T'^2$. Мы можем отобрать такие пары событий, которые относительно F не разделены в пространстве $S = 0$ и которые также не разделены во времени $T = 0$. Ясно, что благодаря влиянию движения на длины линеек и ход часов пространственное расстояние S относительно F не равно пространственному расстоянию S' относительно F' . Точно так же и промежутки времени T и T' отличаются друг от друга. Если мы предположим, что S и T отличны от нуля, то есть что два события разделены в пространстве и во времени относительно системы F , то все же можно выбрать скорость q движущейся системы F' такую, что либо S' , либо T' окажется равным нулю. В первом случае мы имеем $S^2 - c^2T^2 = -c^2T'^2$. В этом случае два события происходят в одной и той же точке системы F' в разные моменты времени $t'_2 - t'_1 = T'$. Та-

кая движущаяся система, очевидно, может быть найдена, если $S^2 - c^2T^2 > 0$, то есть если $S < cT$. В случае же, когда $S^2 - c^2T^2 > 0$, мы можем найти движущуюся систему F' такую, что $T' = 0$ и $S^2 - c^2T^2 = S'^2$. В этом случае оба события происходят относительно F' в один и тот же момент времени $t'_2 - t'_1$ на расстоянии S' друг от друга. Это значит, что если два события происходят одновременно в $t'_1 = t'_2$ в системе F' ,

то имеется некоторый промежуток времени между ними $t_2 > t_1$ в системе F .

Мы можем адекватно описать эти факты, используя четырехмерный пространственно-временной континуум. Если мы имеем два события и назовем их двумя точками этого четырехмерного континуума, то мы можем говорить об этих событиях так же, как мы говорим о двух точках обычного трехмерного пространства. Можно, например, рассматривать две точки в плоскости x, y . Эти две точки имеют прямоугольные координаты x_1, y_1 и x_2, y_2 . Если мы говорим, что обе точки имеют одну и ту же абсциссу $x_1 = x_2$, то это ничего не говорит о самих этих точках. Мы можем выбрать другую систему координат (например, вращая исходную) и найти, что для координат x'_1, y'_1, x'_2, y'_2 относительно новой системы x'_2 отлично от x'_1 . Утверждение, что $x'_1 = x'_2$ говорит нечто об отношении точек к выбранной системе координат, но ничего не говорит о самих точках. Точно так же если два события (точки в четырехмерном пространстве) не разделены во времени $T' = t'_2 - t'_1 = 0$ в системе F' , то это является только утверждением об отношении двух событий к системе F' , но ничего не говорит о самих событиях. Точно так же, как и для точек на плоскости, мы могли бы ввести систему отсчета F , в которой $t_2 > t_1$.

Таким образом, используя терминологию «четырёхмерный континуум», мы можем описывать факты в релятивистской физике более простым и более изящным способом, чем при разделении времени и трехмерного пространства. Мы находим, что величина как пространственного расстояния S , так и промежутка времени T между двумя событиями зависит от системы отсчета. Однако комбинация $S^2 - c^2T^2$ промежутков времени и пространственных расстояний имеет одну и ту же величину во всех движущихся системах F' , какова бы ни была величина скорости q . Поскольку описание событий на языке «четырёхмерного пространства» более удобно, чем на языке трехмерного пространства, постольку мы склонны говорить, что

четырёхмерное пространство более «реально», чем трёхмерное. В то время как S и T не «существуют» независимо от системы отсчета, комбинация $S^2 - c^2T^2$ «существует» сама по себе. Г. Минковский писал в 1908 году, что комбинация пространства и времени, четырёхмерный континуум, есть то, что «реально существует», тогда как время и пространство, если они разделены, суть только «видимости». Но даже если мы назовем четырёхмерный пространственно-временной континуум более реальным, чем время или пространство в отдельности, то это будет просто обозначать, что его использование является практически более удобным представлением теории относительности.

Нет никакого сомнения, что если мы назовем четырёхмерный пространственно-временной континуум «реальностью», то это склонит нас к принятию утверждения Лагранжа: механика есть четырёхмерная геометрия. Кроме того, в связи с этим будет напрашиваться высказывание, что четырёхмерный континуум «существует сейчас», и поэтому все будущие события существуют сейчас, и что «будущее» состоит в нашем движении сквозь четырёхмерный пространственно-временной континуум. Но совершенно так же, как и до формулировки Минковским теории относительности, мы должны также признать, что употребление слова «сейчас» в этой формулировке довольно двусмысленно. Под «сейчас» мы имеем в виду поперечное сечение четырёхмерного пространственно-временного континуума, которое определяется уравнением $t = t_0$. Поэтому самопротиворечивым является то положение, что каждый будущий момент времени $t > t_0$ может существовать «сейчас».

Этот четырёхмерный пространственно-временной континуум часто употреблялся для того, чтобы доказать, что будущее «предопределено». Если событие E происходит относительно системы F в момент $t = t_0$, то это же самое событие может произойти относительно F' в более ранний момент времени $t' < t_0$. Это положение было охарактеризовано следующим образом: за короткий промежуток времени до t_0 никто не знал, произойдет или не произойдет событие E , однако

фактически оно произошло в F' , следовательно, было предопределено, что оно произойдет позднее в F . Все, что должно произойти в будущем, фактически уже произошло, и, следовательно, свершению этого нельзя помешать. Это было бы доктриной «предопределения», или «предустановления», в ее самой радикальной форме. На самом же деле, однако, событие E происходит только однажды и действительное положение дел сводится только к следующему: это событие совпадает с определенной точкой системы F , когда часы, находящиеся в покое в этой точке, показывают $t = t_0$, тогда как часы, находящиеся в покое в F' , показывают время $t' < t_0$.

Формулирование теории относительности с помощью представления о четырехмерном континууме является полезным инструментом для представления физических событий. Но она не может выразиться на нашем повседневном языке посредством таких же высказываний, к которым привыкли, говоря о нашем обычном трехмерном пространстве.

Глава 7
**МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ
РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ФИЗИКИ**

1. Метафизические интерпретации «инерции»

Не может быть никакого сомнения, что ньютоновская теория движения была весьма полезна для выведения наблюдаемых движений материальных тел и для действия механических приспособлений. Однако всегда при этом возникал вопрос, действительно ли с точки зрения ньютоновских законов движения можно объяснить наблюдаемые движения и являются ли эти законы интеллигибельными в аристотелевском смысле. Если они не удовлетворяют этому требованию, то по отношению к ним применимо общее положение, что наука ничего не говорит о действительных причинах и дает нам только формулы, которые имеют практическое значение, но которые сами по себе смысла не имеют и, как выразился Р. У. Эмерсон, являются «несвойственными человеку». Не удивительно, что снова и снова предпринимались попытки доказать, что ньютоновские законы движения или закон неуничтожимости материи могут быть выведены с помощью «видения интеллектом» или «метафизического видения». Особенно поучительно исследовать результаты этой «метафизической интуиции» для того, чтобы узнать, действительно ли они, как и в других случаях, являются результатом попыток понять ньютоновские принципы механики посредст-

вом аналогий с опытами, знакомыми нам из нашей повседневной жизни.

Аристотель высказал мысль, что утверждение: «Тело, брошенное в любом направлении, будет, если на него не действует никакая внешняя сила, бесконечно двигаться по прямой с постоянной скоростью» — абсурдно и противоречит интеллигибельным положениям. Согласно физике Аристотеля, скорость тела обратно пропорциональна плотности среды, в которой оно движется. Если бы тело двигалось в пустом пространстве, то плотность среды была бы равна нулю и, следовательно, скорость была бы бесконечно большой; но тогда тело покрывало бы громадные расстояния, не затрачивая на это никакого времени, что абсурдно. Однако, когда Галилей и Ньютон выдвинули закон инерции как основополагающий принцип механики, стало возможно вывести очень много фактов, которые могли быть проверены экспериментом. Ньютонская механика стала краеугольным камнем всей астрономии и всей инженерной механики. Однако все еще требовалось доказать, что эти принципы были не «низшего» типа (в смысле, в котором Фома Аквинский считал бы их таковыми), которые могли бы быть подтверждены только их следствиями, а не рассуждением. Неоднократно предпринимались попытки доказать, что ньютоновские принципы «внутренне ясны», или, другими словами, что они могут быть «видимы разумом».

Чтобы хорошо понять, как принципы механики доказывались с помощью «видения разумом», рассмотрим два характерных примера: закон инерции и закон неразрушимости материи. Мы исследуем доказательства философов, взгляды которых весьма отличаются, Иммануила Канта и Герберта Спенсера: первого — представителя так называемого критического идеализма и второго — представителя строгого эмпиризма, который некоторыми назывался даже материалистом. Кант пытается доказать интеллигибельный характер закона инерции, формулируемого им следующим образом: «Каждое изменение материи

имеет внешнюю причину», и эту формулировку он считает эквивалентной ньютоновской формулировке. Перед тем как выдвинуть само доказательство, Кант утверждает, что мы берем из общей метафизики суждение, что каждое изменение имеет причину; в данном пункте мы должны только доказать, что каждое изменение материи в каждом отдельном случае должно иметь внешнюю причину». Это доказательство дается следующим образом.

Материя, объект только внешних чувств, определяется посредством лишь внешних условий в пространстве и не испытывает никакого изменения, иначе как посредством движения. Следовательно (согласно принципу метафизики), переход одного движения в другое или от покоя к движению должен иметь причину. Но эта причина не может быть внутренней, потому что материя не определяется внутренними причинами. Поэтому всякое изменение в ней имеет внешнюю причину, то есть остается в покое или продолжает движение с постоянной скоростью, если на нее не действует какая-либо внешняя причина.

Если мы сравним это доказательство с подходом к закону причинности современной науки, то увидим, что силлогизм Канта не очень убедителен. Все зависит от того, что понимать под «состоянием движения». Если мы назовем изменение движения «переменной места», то равномерное движение без действия постоянной внешней причины будет невозможно. Если же под «состоянием движения» будут понимать только «скорость», то сможем доказать, что действие внешней причины необходимо лишь для изменения скорости. Но отождествление, как это делал Ньютон, «состояния движения» со «скоростью» или «быстротой» есть физическая гипотеза, которая может быть подтверждена ее следствиями, а не какой-либо метафизической интуицией.

Так как Кант, очевидно, чувствовал, что его доказательство, хотя и имело форму логического умозаключения, звучит не очень убедительно (возможно, по-

тому, что термины, вроде «изменение движения», употреблялись без добавления к ним операциональных определений), свое доказательство он дополнил параграфом «примечаний», благодаря которым оно должно было стать более убедительным. Интересным в этих «примечаниях» является то, что они содержат аналогии между движущимися телами и некоторыми хорошо знакомыми положениями здравого смысла, взятыми из повседневной жизни. Кант писал:

«Инерция материи есть не что иное и не означает ничего иного, кроме того, что безжизненно... *Жизнь* обозначает качество субстанции определять по внутреннему принципу свои действия, или качество материальной субстанции определять свое движение или покой как изменение своего состояния. Мы не знаем никакого другого внутреннего принципа субстанции для изменения ее состояния, кроме желания, и вообще никакой другой внутренней деятельности, кроме мышления со всем тем, что с ним связано, то есть с эмоцией удовольствия и неудовольствия, желания или воли. Эти мотивы и действия не относятся к тому, что дается внешними чувствами, и, следовательно, не относятся к качествам материи как таковой. Следовательно, вся материя как таковая безжизненна. Это, и ничто иное, и есть то, что говорит закон инерции... На законе инерции (помимо вечности субстанции) основывается возможность собственно науки. Противоположностью этому и, следовательно, смертью всей натурфилософии был бы гилозоизм (допущение, что материя имеет жизнь). Из этой же концепции инерции как отсутствия жизни следует, что инерция материи должна быть положительной тенденцией сохранять свое состояние. Только живые существа инертны в этом смысле, потому что они имеют идею другого возможного состояния, отвергают его и сопротивляются изменению».

Ситуацией повседневной жизни, которую Кант использовал в качестве аналогии с инерцией материи, является контраст между самой материей и работни-

ком, который трудится над материалом, чтобы получить определенный результат, который он мысленно представляет. Материя пассивна и инертна, а человек активен и пользуется своим разумом. Характерной чертой материи является ее полная пассивность, и это качество, согласно Канту, оказывается причиной ее инерции. Такая аналогия, конечно, придаст закону инерции большую аналогию с человеческой деятельностью, но мы жестоко ошибались бы, если бы поверили, что она дает «объяснение» инерции. Хотя это введение понятия «жизни» в физическую науку и делает ее более «человеческой», оно, конечно, мало имеет отношения к действительному закону инерции в механике. Оно создает даже то ошибочное впечатление, что для живых организмов закон инерции оказывается не имеющим силы.

Доказательство Канта может быть сформулировано таким образом, что не будет никакой аналогии с живыми организмами. Мы можем рассматривать «сам живой организм» как механическую систему материальных точек, тогда как под «материей» можем иметь в виду единичную, изолированную материальную точку. Тогда внутренние силы в системе оказываются внешними силами для конкретной материальной точки и становится понятным, как такая система может изменить свое состояние от покоя к движению; внешние силы действуют на индивидуальные материальные точки. Движение системы может возникнуть, если только оно не противоречит закону сохранения импульса. Если мы будем рассматривать изолированную в пространстве материальную точку, то обнаружим, что внешняя сила отсутствует и состояние движения не может измениться, потому что всякое изменение противоречило бы метафизическому утверждению о том, что не может быть никакого изменения без действия внешней силы.

В этой форме доказательство справедливости закона инерции очень похоже на самое рафинированное доказательство, какое только было дано. Тако-

вым является доказательство, данное великим английским физиком Максвеллом. На первый взгляд это доказательство кажется очень убедительным, но при более глубоком рассмотрении мы находим, что в действительности оно не является доказательством, в нем только подчеркивается чистая аналогия представлений, полученным из опыта обыденного здравого смысла. Максвелл, после того как представил экспериментальное доказательство, так писал о законе инерции:

«Но наше убеждение в истинности этого закона может намного усилиться, если мы примем во внимание то, что связано с его отрицанием. Пусть нам дано тело в движении и пусть оно будет представлено самому себе так, что никакая сила на него не действует. Что произойдет? Согласно ньютоновским законам, оно будет продолжать двигаться равномерно по прямой линии».

Теперь Максвелл исследует допущение, что скорость может изменяться.

«Если скорость не остается постоянной, то предположим, что она изменяется. Изменение скорости должно иметь определенное направление и величину... определяемую или самим направлением движения или каким-либо направлением, фиксированным в теле. Допустим, например, что существует закон, гласящий, что скорость в определенном темпе уменьшается... Скорость, о которой идет речь в этом гипотетическом законе, может быть только скоростью, относящейся к точке, находящейся в абсолютном покое. Ибо если это относительная скорость, то ее направление, так же как и ее величина, зависит от точки отсчета... Следовательно, этот гипотетический закон не имеет смысла, если не существует возможности определения абсолютного покоя и абсолютной скорости».

Это, однако, невозможно.

Отрицание закона инерции, таким образом, предполагало бы, согласно Максвеллу, допущение, что имеет смысл говорить об определенной системе от-

счета, что она находится в абсолютном покое или имеет определенную абсолютную скорость. Он подчеркивает, что человеческий разум не может понять, чем является абсолютное положение в пространстве; поэтому отрицание закона инерции «находится в противоречии с единственной системой логически состоятельного учения о пространстве и времени, которую человеческий ум оказался в состоянии создать». Эта единственная система основывается, конечно, на концепции, что «положение» и «скорость» имеют значение только в отношении к определенной системе отсчета.

Если мы исследуем доказательство Максвелла и при этом будем иметь в виду все, что мы узнали о «научном аспекте» инерции, то легко увидим, что всякое «доказательство», которое выдвигалось для того, чтобы сделать «инерцию» разумной, на самом деле является не «доказательством», а метафизической интерпретацией инерции. Ясно, что отрицание принципа инерции предполагает не только систему отсчета, находящуюся в абсолютном покое, но и то, что утверждение этого принципа не имеет смысла, если мы не относим движение к системе отсчета, находящейся в покое. Принцип инерции утверждает, что тело, на которое не действует никакая внешняя сила, остается в покое или находится в состоянии прямолинейного движения. Но «покой» и «прямолинейное движение» не имеют смысла, если нет системы отсчета, по отношению к которой тело должно находиться в покое или в состоянии прямолинейного движения. Следовательно, из доказательства Максвелла мы можем вывести только то, что «если материальная точка единичной массы имеет начальную скорость относительно системы отсчета S , то она будет продолжать двигаться с одной и той же скоростью относительно S . Но это утверждение безусловно ложно, если мы берем его как утверждение физики. Из того, что мы узнали при изучении науки о движении, следует, что тело *не* сохранит своей скорости относительно вращающейся системы координат. Следовательно, нет никакого доказательства, ника-

кого «видения разумом», никакой «метафизической интуиции», из которых мы могли бы узнать, относительно какой системы отсчета тело сохраняет свою скорость. Из доказательства Максвелла следует чисто математическое утверждение о воображаемой системе координат без какого-либо операционального значения.

Позднее Эрнст Мах подчеркнул, что законы Ньютона должны относиться не к «системе, находящейся в абсолютном покое, к ньютоновскому абсолютному пространству», а к физической инерциальной системе, которая при первом приближении совпадает с системой нашей Галактики. Тогда доказательство Максвелла должно быть перефразировано следующим образом: «Если масса имеет относительно неподвижных звезд скорость, которая уменьшается, то должен существовать закон, согласно которому она уменьшается». Но в этом допущении нет никакого противоречия, каким бы ни был этот закон. Действительно, в древности, после Аристотеля, всеобщим признанием пользовалась теория, по которой тело, имеющее скорость относительно галактики, придет к состоянию покоя само по себе, поскольку пребывание в покое есть естественное состояние земных тел. Однако это «доказательство» закона инерции неправильно по другой причине. Максвелл доказывает, что скорость не может изменяться, потому что нельзя представить себе никакого закона изменения, который был бы совместим с нашей общей концепцией времени и пространства. В этом доказательстве принимается как нечто само собой разумеющееся, что законы движения должны формулироваться посредством описания изменений скорости. Однако если следовать историческому пути, по которому развивалась физика, то можно было бы допустить, что законы движения должны формулироваться посредством описания изменения положения. Тогда, придерживаясь рассуждения Максвелла, можно было бы сделать заключение, что положение частицы не может измениться, если не действуют внешние силы, поскольку не задается направление, в каком частица должна дви-

гаться. Доказательство, вроде того, которое сделал Максвелл, молчаливо предполагает, что направление задается наличной скоростью; это утверждение, однако, предполагает, что здесь имеет значение не только положение, но и скорость. Другими словами, делается предположение, что состояние нашего тела определяется не одним положением, но и скоростью. Это предположение, однако, почти тождественно с предположением, что закон инерции имеет силу.

Из этих положений мы узнаем, что все доказательства закона инерции в действительности совсем не доказательства. Но чем же в таком случае они являются? Можем ли мы сказать, как склонны говорить ученые, что эти доказательства ложны? С чисто научной точки зрения они, конечно, неверны. Но, с другой стороны, представляют собой метафизические истолкования закона инерции. В них делается попытка истолковать этот закон с помощью аналогий, взятых из опыта повседневной жизни, подсказанных обыденным здравым смыслом. Они говорят о скорости на языке нашей повседневной жизни, без определения системы отсчета. Они допускают, что если тело известно нам благодаря чувственному опыту, то мы знаем состояние тела. Они игнорируют тот существенный момент, что термин «состояние тела» не относится к описанию тела с точки зрения здравого смысла, а является частью научного языка, созданного для того, чтобы формулировать законы физики в удобной форме. Пример «инерции» поэтому очень показателен. Он показывает, что аналогии, подсказанные здравым смыслом, которые изобретены для того, чтобы «очеловечить» физические законы, и которые после этого называются «метафизическими истолкованиями», имеют две характерные черты: они игнорируют или сводят к минимуму операциональное значение и в них не учитывается, что «состояние» тела есть искусственное понятие, намеренно созданное учеными для того, чтобы в простой и удобной форме формулировать физические законы.

2. «Неуничтожимость материи» как метафизическая интерпретация

Убеждение, что материя не может быть создана или уничтожена, в том смысле что масса (или вес) тела не может быть изменена без увеличения или уменьшения тела, не всегда считалось выводом из опыта обыденного здравого смысла. Герберт Спенсер приводит несколько примеров людей, не веривших в неуничтожимость материи: «Я знал одну леди, которая доказывала, что плотно сложенное платье весит больше, чем сложенное свободно, и которая, находясь под влиянием этой веры, пользовалась большими чемоданами, чтобы снизить плату за перевозку!» Спенсер приводит несколько других примеров. Все эти примеры относятся к женщинам. Он, по-видимому, считал, что женщины дольше сохраняют мнения обыденного здравого смысла, связанные с более ранней стадией развития науки. Он считал, что вера обыденного здравого смысла в неуничтожимость материи возникла в связи с прогрессом науки.

Хотя Герберт Спенсер и был ревностным защитником эмпирического способа мышления и явным противником «метафизической интуиции», он в действительности настойчиво стремился проследить развитие науки из интеллигибельных принципов. Весьма поучительно узнать, с помощью какой аргументации пытался он утверждение о неуничтожимости материи сделать интеллигибельным принципом. Исходным положением его было, что без этого допущения не была бы возможна никакая положительная наука.

«Если бы предметами наших соображений были бы не постоянные количества и тяжести, а такие, которые могут вполне или отчасти уничтожаться, этим вводился бы в наши мысли неподдающийся расчету элемент, гибельный всяким положительным выводам. Из этого ясна надобность основательного рассмотрения убеждения, что материя не уничтожима»¹.

¹ Герберт Спенсер, Основные начала, СПб, 1897 (ч. II, гл. IV), стр. 143.

В более раннее время опыт обыденного здравого смысла, конечно, не приводил к утверждению, что материя сохраняется. Такие хорошо известные из повседневного опыта явления, как сгорание дерева или угля, внушали веру в то, что эти тела исчезают, производя огонь, о котором не знали, является ли он материей. Существовали две, противоречившие одна другой, интерпретации: сгорание угля интерпретировалось сначала как испускание флогистона, а позднее — как присоединение кислорода. «Современная теология, — писал Спенсер, — в ее учении относительно начала и конца мира явно пропитана ею», имея в виду веру в создание и уничтожение материи. Следовательно, эта вера не всегда отвергалась обыденным здравым смыслом. «Постепенное накопление опыта, однако, а еще более организация опыта постепенно склоняли к отрицанию этого убеждения, пока теперь (1860) учение, что материя неуничтожима, не сделалось общепризнанным». Как в громадном числе других случаев, так и в случае допущения принципа о неуничтожимости материи, после того, как это допущение оказалось практически полезным в истолковании данных опыта, стало ясным, что допускать противоположное (то есть уничтожимость материи) значило бы противоречить обыденному здравому смыслу.

Спенсер поставил вопрос: имеем ли мы какую-либо более надежную гарантию, чем гарантия сознательной индукции (из опыта)? Он был убежден, что мы имеем «более надежную гарантию». Он полагал, что с помощью самонаблюдения, с помощью описания потока нашего сознания мы можем доказать на опыте, что психологически невозможно представить себе уничтожение материи. Он писал:

«Внимательный анализ, что оно [понятие о неуничтожимости материи] — данное сознанию. Представьте себе мысленно, что пространство перед вами очищено от всех тел, кроме одного. Вообразите себе теперь, что это тело не удаляется с места, а превращается в ничто, оставаясь на этом месте. Вы не можете представить себе этого. Вы не можете предста-

вить себе, что пространство, бывшее занятым, становится пустым, иначе как воображая, что то, чем оно было занято, передвинулось»¹.

Спенсер отмечал, что невозможно представить себе, чтобы материя сжималась в ничто; то, что можно представить, всегда есть не больше, как уменьшение расстояния между частями.

«Мы можем только представить себе части материи сблизившимися, но не можем представить себе уменьшившимся количество ее. Представить себе это значило бы представить себе некоторые из составных частей ее сжавшимися в ничто; а это так же невозможно нам, как и представить себе все целое сжавшимся в ничто... Уничтожение материи немыслимо по той же самой причине, по которой немыслимо создание материи»².

Аргументация Спенсера особенно поучительна потому, что он детально развивает положение о «невозможности представления уничтожения материи» с психологической стороны, тогда как большинство авторов заявляет только, что уничтожение материи противоречит свидетельству нашего «внутреннего зрения», или «интеллектуальной интуиции».

Из аргументации Спенсера ясно также, что под невозможностью представить или помыслить уничтожение материи мы в действительности имеем в виду невозможность найти в нашем опыте обыденного здравого смысла такой факт, который можно было бы назвать уничтожением материи. Поэтому то, что доказывает Спенсер, есть только то, что мы не находим в опыте нашей повседневной жизни аналогии уничтожению или созданию материи; следовательно, учение о неуничтожимости материи есть метафизическое истолкование ньютоновской физики. Как мы видели, в современной физике ряд явлений интерпретируется как «уничтожение материи», например превращение пары электрон — позитрон в элементарную порцию лучистой энергии (фотон) или потеря массы,

¹ Герберт Спенсер, Основные начала, стр. 147.

² Там же.

сопровождая образование гелия из водорода. Мы действительно знаем, что при плотной «упаковке» двух ядер и двух нейтронов водорода получается ядро гелия, масса которого меньше, чем сумма составляющих его масс. В ядерной физике мы говорим об «эффekte упаковки».

Поучительно заметить, что Спенсер, как цитировалось в начале этого параграфа, высмеивает женщину, которая верила в «эффект упаковки» сто лет назад. Он отмечает, что эта леди была недостаточно интеллигентна, чтобы понять, что «эффект упаковки» немислим и невообразим. Человек, не имеющий дела с наукой, вроде леди в анекдоте Спенсера, стоит на уровне опыта обыденного здравого смысла, который допускает уничтожение материи в результате плотной упаковки. Когда мышление того или иного человека становится в научном отношении более развитым, этот человек начинает понимать, что «эффект упаковки» немислим. Из всего этого можно видеть, что высмеянная Спенсером леди была права, потому что «эффект упаковки» возможен, а философ, веривший в то, что он может доказать немислимость уничтожения материи, оказался неправым. Верить в то, что какая-либо леди или кто-либо другой может упорной тренировкой своего ума усовершенствовать свой здравый смысл, представляется ошибочной. Если бы упомянутая выше леди последовала совету Спенсера, она в конце концов, вероятно, преуспела бы в усвоении идеи, что уничтожение материи и «эффект упаковки» немислимы.

Успехи атомной физики, которые привели к открытию «эффекта упаковки», были достигнуты не благодаря большим усилиям в попытках представить уничтожение материи, а благодаря попыткам построить систему символов, понятийную схему, из которой могут быть выведены наблюдаемые явления. Среди понятий, которые образовали эту систему, было понятие уменьшения массы в результате уплотнения структуры атомного ядра. Задача состоит не в том, чтобы непосредственно представить себе, как может исчезнуть материя, а в том, чтобы вывести наблюдаемые явле-

ния из утверждения, что материя исчезает. Нет сомнения, что всякое наблюдаемое явление есть также мыслимое и представляемое. Конечно, «эффект упаковки», который пыталась вообразить себе экономная леди, был, по-видимому, весьма малым, и над ней смеялись, вероятно, потому, что она придавала какое-то значение этой ничтожной потере веса. Но сегодня мы знаем, что будущее нашего мира может зависеть от малых долей массы, поскольку эта потеря веса является «секретом водородной бомбы».

3. Метафизические «импликации» теории относительности

При изложении теории относительности Эйнштейна с логической и эмпирической точки зрения мы указывали, что ее логическая структура не существенно отличается от логической структуры всякой другой физической теории; она начинается с формальной системы, к которой добавляются операциональные определения, и выводит из нее наблюдения, являющиеся логическими утверждениями, проверяемыми действительными наблюдениями. Эти наблюдения того же порядка, что и любые другие наблюдения традиционной механики или оптики; по существу, они состоят в наблюдении совпадения знаков на разных шкалах. Эта теория может быть представлена как система физических гипотез или система определений, так же как и всякая другая физическая теория. С помощью системы определений гипотезы могут быть сформулированы в простом и практически полезном виде. Однако очень многие авторы, даже и в настоящее время говорят, что теория относительности есть не физическая теория в обычном смысле этого слова, а философская или метафизическая доктрина, которая объясняет новые физические факты, не выдвигая новых физических гипотез. В ней предлагается новый взгляд на пространство и время и вводится сам наблюдающий ученый в картину физического мира.

Более того, многие выдающиеся авторы, философы, религиозные деятели, деятели просвещения и

даже ученые заявляли, что под влиянием теории относительности радикально изменились и общие точки зрения на положение человека во вселенной. Механистическая картина мира, господствовавшая в XVII и XVIII веках, в значительной степени стимулировала движение в сторону материалистической философии. Это движение в XVIII и XIX веках очень многим казалось почти неодолимым. Однако в XX веке прочно сложилось убеждение, что физика XX века, особенно теория относительности и квантовая теория, остановили это мощное движение. Многим авторам казалось очевидным, что движению к материализму пришел конец и что произошел резкий поворот в сторону идеализма. Синнот, выдающийся биолог Йельского университета, опубликовал недавно книгу «Two Roads to Truth» («Две дороги к истине»), в которой пытается достичь примирения между наукой и религией на основе результатов современной науки. Он пишет:

«После революции, произведенной теорией относительности, квантовой механикой и ядерной физикой, в науке были вынуждены изменить некоторые из более ранних выводов. Простой истиной является то, что вселенная представляет собой гораздо более сложную систему, чем это казалось во времена Ньютона... Теперь ученые без удивления воспринимают идеи, которые в недавние времена показались бы абсурдными. Это изменение получило отражение в том, что они стали более непредубежденно относиться к идеалистической философии. В течение трех веков уверенно прогрессирующая наука, казалось, подкапывала основания веры и религия была вынуждена менять свои позиции во многих отношениях и терять поддержку ее наиболее мыслящих сторонников. Прилив, однако, начал спадать, и агрессивный настроенный идеализм от защиты переходит к наступлению».

Такую же философскую интерпретацию теории относительности дает и видный социолог Гарвардского университета Питирим Сорокин. Он с сожалением подчеркивает, что со времени рождения новой науки (около 1600 года) наша культура становилась все

более и более «чувственной культурой», в которой, по его мнению, главный интерес сосредоточивается на явлениях, доступных чувственному восприятию. Он сравнивает эту культуру — не в ее пользу — с «культурой идей» («ideational culture»), господствовавшей в средние века, когда духовные и идейные ценности были главной целью человеческих стремлений. Сорокин видит характерную черту культуры в господствующем понятии времени. В «чувственной культуре» имеется «чувственное время», которое может быть сведено к количественным измерениям, тогда как «время в его идее» («ideational time») имеет характерное свойство, связанное с эволюцией вселенной. Сорокин указывает, что в XX веке начали появляться признаки реакции против придания исключительного значения «чувственному времени». Одним из них является возрождение качественного времени французским философом Анри Бергсоном, который проводит различие между «количественным временем», как его понимают физики, и тем, что он называет «длительностью», являющейся качественным временем и употребляющейся Бергсоном для описания эволюции организмов. Другим признаком, упоминаемым Сорокиным, «...является «пространственно-временной континуум» Минковского — Эйнштейна, который в некотором смысле представляет собой восстание против крайнего «чувственного времени»... Это значит, что признаки восстания против чувственного времени имеют место. Это восстание находится в согласии с другими «восстаниями» против способа мышления чувственной культуры, происходившими в конце XIX и в XX веке во всех областях культуры».

Сорокин обращает наше внимание на то, что основные понятия, употребляемые в науке определенного периода, не являются независимыми от понятий, которые употребляются при формулировании культурных ценностей этого же периода. Говоря о науке XX века, он подчеркивает «зависимость основной концепции науки от изменения всего интеллектуального мира культуры». Более того, указывалось, что благодаря этому «спаду прилива» пропасть между наукой

и религией, которая казалась непроходимой, теперь, по-видимому, становилась не столь широкой. Перебросить мост между ними стало возможным. Огромное влияние на наше общее мировоззрение, которое приписывалось новой физической теории очень многими авторами в области образования, религии и даже политики, поставило «на место» самих ученых-физиков. Многие были рады, что их любимая наука была признана опорой их излюбленных моральных и религиозных верований, а очень многие другие доказывали, что теория относительности есть добропорядочная физическая теория, пытающаяся дать описание наблюдаемых явлений, и не может определять, прав ли материализм или идеализм, и еще меньше — права ли религия или ее противники.

Возник вопрос, как может новая теория быть, с одной стороны, просто усовершенствованием нашей схемы предсказания наблюдаемых явлений и, с другой стороны, оружием в борьбе за или против идеалистической философии или религии. Огромное большинство современных физиков успешно освоились с мыслью, что в своих специальных областях как можно больше нужно избегать философии. С другой стороны, огромное большинство изучавших философию научились верить в то, что для достижения хорошего понимания философии достаточно хотя бы поверхностного знания физики. Однако, когда встает вопрос о том, каким образом физическая теория может быть интерпретирована как доказательство или как опровержение материализма или идеализма, физиков действительно ставят «на место». Если философ, сознающий, что его познания в физике недостаточны, попросит консультацию у «специалиста» по физике, он очень редко получит удовлетворительный ответ.

Есть, конечно, физики, готовые принять даже самое туманное доказательство, если только оно не претендует на научность, а претендует быть «философским» и согласуется с той философией, которую физик усвоил еще в детстве. Но если он говорит «как физик», то обычно скажет, что все эти философские «импликации» в отношении идеализма или материа-

лизма являются настоящей «бессмыслицей», на которую порядочный ученый не должен обращать никакого внимания. К несчастью, эта «бессмыслица» оказывает сильное влияние на поведение человека, и физик, не способный дать своим слушателям правильного объяснения тех философских выводов, которые следуют из теории относительности, не может выполнить функций преподавателя физики в современном обществе. Физик склонен применять слово «бессмыслица» ко всем попыткам вывести то или иное философское положение из физических теорий, потому что он чувствует, что эти положения, строго говоря, не являются логическими следствиями тех научных утверждений, которые составляют эти теории, например теорию относительности. Однако мы понимаем смысл этих философских импликаций очень хорошо, если рассматриваем их не как логические следствия или как индуктивные обобщения физической теории относительности, а как метафизические истолкования теории Эйнштейна.

В действительности теория относительности особенно удобна для того, чтобы стать примером философских или метафизических истолкований науки. Если мы учитываем это, то можно понять, что философские импликации теории относительности могут быть выведены различными способами, которые очень часто даже противоречат друг другу. Это понятно, если мы признаем, что именно данная из этих интерпретаций, а не другая определяется этой теорией; они являются скорее аналогиями теории относительности, выведенными из мира нашего повседневного опыта. Бертран Рассел пишет:

«У каждого философа имеется обычная, как и в случае любой новой научной теории, тенденция интерпретировать работу Эйнштейна в согласии с его собственной метафизической системой и считать, что в результате этой интерпретации значительно укрепляются те взгляды, которые этот философ уже имел».

И действительно, были философы, которые характеризовали теорию относительности как простое описание наблюдений, без проникновения в истинные за-

коны природы, в то время как другие утверждали, что теория относительности является не физической, а метафизической теорией, которая говорит нам о самых сокровенных законах вселенной. Некоторые авторы приветствовали теорию относительности как окончательную победу идеализма над материализмом, тогда как другие обвиняли ее в том, что она является грубой формой материализма. Это метафизическое истолкование играет очень большую роль в попытках, которые предпринимались для популяризации теории относительности, для интерпретации ее смысла неспециалистом. Линкольн Барнетт пишет:

«Физики были вынуждены покинуть обыденный мир нашего опыта, мир чувственного восприятия... Даже пространство и время суть формы интуиции, которая может отделяться от сознания не больше, чем наши понятия цвета, формы или величины. Пространство не имеет иной объективной реальности, кроме как быть порядком или расположением объектов, которые мы в нем воспринимаем, а время не имеет независимого существования в отрыве от порядка событий, с помощью которого мы его измеряем».

Это, конечно, верно, но это верно и для каждой физической теории, потому что в каждой теории мир наших непосредственных чувственных наблюдений заменяется формальной системой, связями между символами, которые в свою очередь связаны с чувственными впечатлениями посредством операциональных определений. Мы можем вывести метафизические интерпретации из этих непроверяемых предложений путем подчеркивания некоторых специальных аналогий. Мы можем подчеркнуть то, что все утверждения о длине или длительности не являются больше утверждениями об объективном времени или пространстве, а являются утверждениями о наших впечатлениях. Эти утверждения, по-видимому, сводят к минимуму роль материи и возвеличивают роль сознания в такой степени, что опровергают материализм в науке. Но с таким же успехом мы можем подчеркивать и то, что пространство и время до Эйнштейна были духовными

объектами и что теперь они заменены показаниями материальных часов и измерительных линеек. Это привело бы к материалистическому истолкованию.

Антиматериалистическая интерпретация окрепла благодаря доказательству того, что в теории относительности закон сохранения материи больше не имеет силы; материя может превращаться в нематериальные сущности, в энергию. Это утверждение рассматривалось как аргумент, подкрепляющий веру некоторых религиозных групп, что, согласно современной науке, «материя перестала существовать», и даже как аргумент в подкрепление слов Мэри Бейкер Эдди, основательницы христианской науки: «В материи нет ни жизни, ни истины, ни разума, ни субстанции».

Английский философ Герберт Уильдон Кар приветствует теорию относительности Эйнштейна за то, что она определенно сохраняет для сознания его место в объективном физическом мире. Он говорит, что до Эйнштейна общим верованием было, что «природа может влиять на разум только в тенеобразной и похожей на сон форме идеи». Однако в теории относительности, как мы видели, законы механики и оптики не могут формулироваться, если совершенно явным образом не вводится сознание наблюдающего ученого. Кар утверждает:

«Теперь, когда действительность берется в конкретной форме, как того требует от нас общий принцип относительности, мы не отделяем наблюдателя от того, что он наблюдает, сознание от объекта для того, чтобы затем обсуждать вопрос о первичности одного перед другим».

Можно было бы сказать, что антиматериалистическая тенденция науки XX века поддерживалась общественным мнением о науке. В «Encyclopedia Britannica», например, утверждается: «Современная наука идет от материализма и механицизма к признанию иных, немеханических факторов в явлениях, даже в физических явлениях природы».

В странах, где еврейско-христианское мировоззрение является господствующей идеологией, материализм обычно считался вредным с точки зрения влия-

ния на желательное поведение человека, следовательно, опровержение материализма теорией относительности рассматривалось как огромное достижение.

У советских авторов имеется сильная тенденция к тому, чтобы считать, что теория относительности противоречит материализму. Это предполагает, конечно, осуждение теории относительности как «реакционной теории», которая ведет к нежелательному политическому поведению. Есть два пункта, которые подчеркивались советскими авторами и наиболее подвергались критике: отказ от признания эфира материальной средой, в которой распространяется свет, и отказ от суждения, что Земля «действительно» движется и что система Птолемея является «действительно» ложной.

Оба этих взгляда заклеены как антиматериалистические, потому что они связаны с утверждением, что физика является не учением об объективных движениях материальных тел, а учением о привнесении порядка в наши чувственные наблюдения. Это учение часто связывается с именем австрийского физика и философа Эрнста Маха, который стал в советской литературе постоянной мишенью для атак. В «Большой советской энциклопедии» в статье об эфире говорится:

«Специальная теория относительности прибегает к чистому математическому описанию, отказываясь рассматривать вопрос о среде, в которой происходят электромагнитные явления, и тем самым отказываясь от ответа на вопрос об объективности физических явлений, то есть по существу становясь в вопросе об эфире на точку зрения Маха»¹.

Советский физик и философ Аркадий Клементьевич Тимирязев писал:

«„Правоверная“ современная наука, не разрешающая себе сомневаться в теории Эйнштейна, считающая эту теорию абсолютной истиной... стоит на позиции, на той неприемлемой для всякого, не подчиняющегося научной „моде“ позиции, что система Коперника и система Птолемея — одно и то же... Отождествление

¹ БСЭ, I изд., т. 65, стр. 17.

Коперника с Птолемеем — это не вывод, сделанный какими-то идеалистами, а это отправной пункт всей теории Эйнштейна, и притом отправной пункт, взятый им у Маха, а у Маха он вытекает из его реакционной философии»¹.

Тимирязев, как и многие другие советские авторы, недвусмысленно утверждает, что «идеалистические» заключения являются не произвольными метафизическими интерпретациями теории Эйнштейна, а что сам Эйнштейн построил свою теорию намеренно таким образом, что ее выводы могут быть использованы для поддержки еврейско-христианского мировоззрения, разработанного в борьбе с материализмом. Тимирязев думает, что теория Эйнштейна не может быть очищена от этой интерпретации без того, чтобы не быть подорванной в самой своей основе. Он пишет: «Если мы хотим бороться с этим реакционно-идеалистическим выводом о Копернике и Птолемею, придется радикально перестроить всю теорию относительности; много ли от этой теории после перестройки останется, — об этом можно еще спорить»².

Подчеркивая идеализм в этой теории, он пишет:

«Этот ответ [что вращение относительно эфира или относительно абсолютного пространства является причиной центробежной силы] не нравится Эйнштейну: мы эфира не видим и не имеем никаких отметок ни в нем, ни в абсолютном пространстве, следовательно, эти вещи (эфир или абсолютное пространство) — фикции, это — не элементы, не «ощущения». Поэтому, если мы говорим о вращении по отношению к фиктивным вещам, мы грешим против закона причинности, так как причина фиктивна. Какой же выход из положения? Выход один и тот же и у Маха и у Эйнштейна. Причина, оказывается, лежит в так называемых неподвижных звездах... Неподвижные звезды — не фикция, и, стало быть, и теория познания

¹ А. К. Тимирязев, Еще раз о волне идеализма в современной физике, «Под знаменем марксизма», № 4, 1938, стр. 136 и 139.

² Там же, стр. 139—140.

Маха Эйнштейном спасена! И, главное, получена возможность освободиться от идей... Коперника»¹.

Из этой аргументации ясно видно, что определение теории Эйнштейна, с одной стороны, как «идеалистической» и, с другой, как «опровергающей материализм» есть не что иное, как подчеркивание близости между этими определениями. Ясно, однако, одно: Мах и Эйнштейн отвергают вращение относительно абсолютного пространства как причину центробежной силы потому, что абсолютное пространство и эфир не являются доступными наблюдению физическими телами. Многие склонны называть эту защищаемую Махом и Эйнштейном позицию материалистической. Мы не должны поэтому удивляться тому, что теория относительности обвинялась в том, что в некоторых отношениях она якобы дает доказательства в пользу материализма. Это обвинение выдвигалось теми группами, которые, по некоторым политическим соображениям, были врагами теорий Эйнштейна и в то же самое время врагами материализма. Поэтому нужно было ожидать, что мы найдем такое обвинение теории относительности со стороны представителей философии, которая защищалась правящей партией при нацистском правительстве в Германии. В инструктивной беседе один лектор сказал:

«Формулировка, гласящая, что явления природы подчиняются общему принципу относительности, есть не что иное, как выражение радикально материалистической позиции разума и духа... Теория относительности может приветствоваться только поколением, которое воспитывалось при господстве материалистического способа мышления».

В то же время некоторые физики в Советском Союзе, которым не нравится унижительный ярлык «идеалистический», присваиваемый теории относительности ее комментаторами, отнесли к Эйнштейну одобрительно потому, что он устранил «идеалистические и метафизические» элементы из ньютоновской

¹ А. К. Тимирязев, Еще раз о волне идеализма в современной физике, «Под знаменем марксизма», № 4, 1938, стр. 137.

механики, и подчеркивали материалистические пункты в теории Эйнштейна. Выдающийся советский физик Сергей Иванович Вавилов пишет:

«Для Ньютона пространство объективно существует как пустоеместилище, как сцена, на которой разыгрываются мировые процессы... Абсолютное время, по Ньютону, также существует независимо, как своего рода «чистое движение». Такая схема, разумеется, неприемлема для диалектического материализма и с ним несовместима... Фактически метафизическое учение Ньютона о пространстве и времени с его закулисной, мало известной мистикой дожило до нашего времени, и историческая заслуга Эйнштейна состоит в критике старых, метафизических представлений о времени и пространстве»¹.

Однако в редакционной статье газеты «London Times» в 1919 году, после того как эйнштейновская теория тяготения нашла подтверждение в астрономических данных, мнение широкой публики было выражено следующим образом: «Наблюдательная наука действительно привела нас назад, к чистейшему субъективному идеализму».

4. В каком смысле теория относительности опровергает материализм?

Мы узнали, в какой мере деятели в области образования, политики и религии были склонны смотреть на теорию относительности Эйнштейна как на оружие для опровержения материализма и делать из нее эффективный инструмент для руководства людьми. Теперь мы собираемся более подробно исследовать аргументы, которые были выдвинуты против материализма, и установить, до какой степени эти аргументы действительно вытекают из научного аспекта этой теории. Мы можем, по-видимому, указать и исследовать четыре главных основания:

¹ С. И. Вавилов, Новая физика и диалектический материализм, «Под знаменем марксизма», № 12, 1938, стр. 29—30.

1. Действительная вселенная является не трехмерной евклидовой, а четырехмерной неевклидовой.

2. Материя может превращаться в нематериальную сущность, в лучистую энергию.

3. Нематериальные сущности, вроде кривизны пространства, могут создавать движения тяжелых материальных тел.

4. Эта теория исследует не объективное движение материальных тел, а состояния ума, впечатления, производимые физическими объектами на индивидуальных наблюдателей.

Доказательство в пользу 1 положения в общем следующее: материалистическая наука до 1900 года, полагала, что в мире ничто реально не существует, кроме «материи» в обычном смысле этого слова, согласно которому материя есть трехмерная грубая субстанция. Ее можно было трактовать согласно традиционным правилам евклидовой геометрии, и она в корне отличается от того, что можно назвать «духовной» субстанцией, как человеческая «душа» или «ум». Теория относительности, однако, показала, что эта грубая трехмерная материя есть только видимость, тогда как «реальность», существующая за этой видимостью, есть нечто бесконечно более тонкое, некий четырехмерный пространственно-временной континуум, который даже не подчиняется законам евклидовой геометрии, а обладает «кривизной». Однако мы должны иметь в виду, что в предложении «наша вселенная *есть* четырехмерная вселенная» слово «*есть*» имеет совершенно иной смысл, чем тот, который оно имеет в традиционном суждении «наша вселенная *есть* трехмерная вселенная». В последнем случае «*есть*» употребляется в настоящем времени, а когда мы говорим о четырехмерном континууме, слово «*есть*» имеет очень сложное значение.

Если мы подробно проанализируем, что теория относительности говорит о значении четырехмерного континуума, то придем к следующему утверждению: описание нашего физического опыта может быть осуществлено проще и практически удобнее с помощью

представления о четырехмерном континууме, чем с помощью взятых по отдельности трехмерного пространства и одномерного времени. Если мы говорим «практически удобнее», то имеем в виду, что представление с помощью четырехмерного континуума принесло большую пользу при нахождении новых физических теорий, которые оказались в хорошем согласии с экспериментами и наблюдениями XX века. Теория тяготения Эйнштейна едва ли оказалась бы возможной без использования четырехмерного символизма.

Герман Минковский, который ввел в физику понятие четырехмерного континуума, писал в 1908 году: «С этих пор пространство в себе и время в себе превращаются в простые тени, и только их единство сохраняет независимое существование». Если мы будем употреблять это суждение и ему подобные, то мы не должны забывать, что они употребляются только в смысле аналогий. Мы говорим о четырехмерном пространственно-временном континууме, как если бы он был объектом нашего повседневного опыта, и говорим, что он «реален» в том смысле, в каком реальна физическая вещь. Следовательно, во всех утверждениях, в которых говорится, что четырехмерный континуум более реален, чем мир трехмерных физических объектов, или употребляется слово «реальный» в чисто научном смысле, как эквивалент слова «практически удобный», или в качестве простой аналогии слову «реальный», используемого в языке обыденного здравого смысла.

Утверждение, что интерпретация теории относительности с помощью четырехмерного континуума противоречит материализму, неправильно; правильно было бы говорить, что невозможно формулировать общие принципы теории относительности в терминах языка обыденного здравого смысла, потому что на этом языке мы не можем сказать, что два события *A* и *B* происходят одновременно в одной системе отсчета. «Новая ситуация в современном мышлении, — говорит Альфред Уайтхед, — возникает в силу того, что научная теория выходит за рамки обы-

денного здравого смысла». Введение относительности, одновременности на уровне общего научного принципа значительно подрывает основы для языка обыденного здравого смысла. «Прежняя наука, — пишет Уайтхед, — только очищала обычные понятия обычных людей». Теория же относительности радикально преобразовала эти понятия.

В этом и только в этом смысле мы должны понимать утверждение, что теория относительности опровергла материализм. Релятивизация одновременности, говорит Уайтхед, «является тяжелым ударом по классическому научному материализму, который исходит из предположения, что существует некий определенный настоящий момент, в котором вся материя одновременно реальна. В новой теории такого единственного настоящего момента нет». Поскольку выражение «вся материя во вселенной в настоящий момент» есть основное понятие традиционного материализма, постольку это учение предполагает, что все принципы науки могут быть сформулированы на языке повседневного опыта. Поскольку же теория относительности доказала, что это не так, постольку она «опровергла» материализм; она доказала, что слово «материя» в ее обычном значении не может принадлежать к числу основных понятий науки.

Теория относительности не может быть формулирована на языке обыденного здравого смысла, потому что на этом языке нельзя, например, сказать, что стол имеет разную длину относительно разных систем отсчета. Если мы хотим изложить теорию относительности на языке обыденного здравого смысла, то мы можем сделать это только путем аналогий. Мы можем, например, как говорилось выше, сказать, что наша вселенная «есть» в действительности четырехмерная вселенная. Если мы забудем, что этот язык не является научным, «универсальным» языком, то мы можем попасть в весьма затруднительное положение. Очень ярким примером такого смещения является интерпретация теории относительности как опоры «фатализма» или «предопределения». Доказательство этому приблизительно такое: может случиться, что не-

кое событие, например смерть человека, которое для нас совершается в настоящем, произошло в прошлом относительно другой системы отсчета и было поэтому предопределено. В этом доказательстве используется язык аналогий. Термины «в настоящем» и «в прошлом» употребляются так, как они употребляются в языке обыденного здравого смысла; но на самом деле событие, о котором идет речь, случается только один раз, и, говоря строго научным языком, часы, отмечающие время события, если они двигаются с различной скоростью, дают разные положения стрелок на циферблате.

Доказательство 2 было рассмотрено раньше. Конечно, верно, что «материя» не сохраняется, если мы употребляем термин «материя», как он употребляется в языке обыденного здравого смысла и в старой физике. Конечно, верно, что «материализм опровергнут», если с «материализмом» мы связывали утверждение о том, что материя, в обычном значении этого слова, наполняла вселенную вечно и останется навечно.

Доказательство 3, согласно которому движение материальных тел может вызываться «кривизной пространства», то есть нематериальным свойством, может опять-таки по праву рассматриваться как опровержение «материализма», если с материализмом мы связываем мнение, что все законы природы могут быть выражены на языке обыденного здравого смысла. Утверждение, что «кривизна пространства», есть «нематериальное» свойство, содержит термин «нематериальный», взятый из языка обыденного здравого смысла, согласно которому все, что неосвязаемо, подобно камню или слону, является нематериальным.

Суммируя все изложенное, мы можем сказать, что все три доказательства, 1, 2 и 3, опровергают мнение, что все законы природы могут быть выражены на языке обыденного здравого смысла; это опровержение, конечно, вытекает из теории относительности Эйнштейна. Это подчеркивал и сам Эйнштейн, когда он утверждал, что общая теория относительности показала в качестве характерной черты физики XX века то, что системы понятий, при помощи кото-

рых могут быть сформулированы общие законы природы, гораздо более далеки от системы понятий, посредством которых удобно описывается наш повседневный опыт, чем это предполагалось в XVIII и в XIX столетиях. Эйнштейн подчеркивал:

«Расстояние в мысли между основными понятиями и законами, с одной стороны, и заключениями, с другой стороны, которые должны быть приведены в связь с нашим опытом, растет все больше и больше по мере того, как проще становится логическая структура, то есть по мере того, как меньше становится число логически независимых понятий, которые оказываются необходимыми для всей структуры в целом».

В связи с доказательством 4 мы должны исследовать, в каком смысле теория относительности является учением о чувственных впечатлениях, тогда как ньютоновская механика имеет дело с объективными фактами. Не может быть никакого сомнения в том, что каждое сообщение об экспериментах мы можем сформулировать как утверждение о чувственных наблюдениях, какова бы ни была теория, с помощью которой мы координируем эксперимент. Мы, конечно, с детства привыкли описывать наш опыт посредством введения слов «физические тела» вместо чувственных наблюдений. Мы говорим, что мы видим «стол», а не комплекс окрашенных пятен. Если мы говорим, что стол имеет «в длину три фута относительно системы отсчета S », то мы имеем в виду, что стол покрывает расстояние между двумя отметками (нуль и три) на жесткой измерительной линейке, которая движется с той же скоростью, что и система S . Это утверждение о поведении жестких тел имеет совершенно такое же содержание, как и утверждение «этот стол имеет в длину три фута» в традиционной физике. Единственным различием является то, что в механике теории относительности отмечается скорость измерительной линейки, потому что от нее зависит результат измерения.

Следует отметить, что в данном случае мы говорим только о столах и измерительных линейках, но совсем не о «живых наблюдателях». Наблюдатель

может иметь любую скорость; он всегда будет наблюдать одно и то же совпадение между отметками на измерительной линейке и краями стола. Поэтому в утверждениях релятивистской механики нет никакого субъективного элемента. Видимость субъективности нашла отражение только в попытках сформулировать суждения теории относительности в виде, аналогичном утверждениям здравого смысла. Вместо того чтобы говорить «длина относительно системы отсчета», что не является выражением, взятым из нашего языка обыденного здравого смысла, мы употребляем выражение «длина для наблюдателя в системе S ». Таким образом, становится возможным говорить, что стол имеет «разную длину для разных наблюдателей». Выражение «для наблюдателя» соответствует выражениям, при помощи которых на языке обыденного здравого смысла отмечают факт, что объект может выглядеть по-разному для разных наблюдателей по причине разной перспективы, оптической иллюзии, или слабости зрения. Таким образом, мы вводим в изложение теории относительности аналогии на языке обыденного здравого смысла, которые безусловно полезны, потому что они вносят с собой некий элемент интуиции. Однако эти аналогии становятся вредными, если мы забываем, что они аналогии, и рассматриваем их как строго научные утверждения. Это различие может быть легко понято, когда в каждое утверждение вкладывается операциональное значение. Тогда становится ясным, что аналогии обыденного здравого смысла или становятся бессмысленными, или приобретают значение, тождественное со значением, которое заключено в выражении, даваемом с помощью строгого научного языка. «Наблюдатель», например, совершенно исчезнет и будет заменен измерительной линейкой или часами.

Говорят, что теория относительности свела физику к утверждениям о явлениях сознания и, следовательно, опровергла материализм. Если это верно в отношении теории относительности, то это верно и в отношении всех физических теорий. В этом смысле всякая физическая теория имеет дело с чувственными впечат-

лениями, которые являются духовными сущностями, и в этом отношении всякая физическая теория опровергает материализм. Однако важно понять, что в теории относительности нельзя найти какого-либо дополнительного доказательства, кроме упомянутого, в пользу идеализма или против материализма.

5. Является ли теория относительности догматической?

Часто утверждалось, что характерной чертой науки нового времени является то, что общие положения, теории или принципы с необходимостью навязываются нам наблюдаемыми фактами, тогда как в древности и в средние века общие утверждения или принципы рассматривались как постигаемые разумом сами по себе и принимались всяким, кто понимал их смысл. Немецкий физик Иоганн Штарк сформулировал следующее различие:

«Прагматический дух непрерывно приводит к новым открытиям и к новому знанию. Догматический же дух ведет к сковыванию экспериментального исследования и к литературе, которая столь же болтлива, сколь бесплодна и скучна и внутренне родственна теологическому догматизму средних веков, который противился введению прагматического естествознания».

В качестве типичного образца догматического духа в науке автор приводит теорию относительности Эйнштейна, потому что она исходит из догмы, что «скорость света одинакова во всех системах отсчета», и пытается приспособить всю физику к этой догме. Эта процедура, согласно Штарку, не является прагматической; потому что весь хорошо нам известный опыт несовместим с этой догмой и может быть приведен в согласие с нею только с помощью чрезвычайно искусственных гипотез, таких, как, например, гипотеза об укорачивании измерительной линейки и отставании часов как следствия движения.

Рассматриваемая с точки зрения ее «научного аспекта» теория относительности не более догматична, чем любая другая физическая теория. Мы несколько

раз обращали внимание читателя на тот факт, что общие принципы физики с 1600 года и особенно с 1900 года были очень далеки от утверждений, которые могут быть сформулированы на языке обыденного здравого смысла. Среди этих утверждений находятся, в частности, принципы эйнштейновской теории относительности. Безусловно ясно, что принципы постоянства и относительности, которые составляют основу теории относительности Эйнштейна, не выводятся из фактов нашего опыта и даже из экспериментов, придуманных и осуществленных учеными-физиками. Однако если мы назовем их догмами, то мы должны будем назвать «догмой» также и принцип инерции. Когда он был выдвинут Галилеем и Ньютоном, он тоже был весьма далек от обыденного опыта и мог быть оправдан только потому, что выведенные из него заключения согласовывались с фактическими наблюдениями. В одном учебнике «Натуральная философия» (то есть физика), написанном сто лет назад, автор говорит вполне правильно, что закон инерции научно подтверждается тем фактом, что из него можно вывести частоту колебаний маятника как функцию его длины и что мы не знаем никакого другого принципа, из которого эту частоту можно было бы вывести. Точно так же принципы постоянства и относительности имеют применимость не в силу их собственной правдоподобности или разумности, а в силу согласия следствий из них с действительными наблюдениями. Таким образом, если принципы Эйнштейна суть догмы, то догмами являются также и закон инерции и ньютоновские законы движения.

Действительно, всякая физическая теория как формальная система догматична и прагматична как система положений о действительных экспериментах. Имеется, конечно, качественная разница в том, что теория кажется тем более догматичной, чем больше ее принципы далеки от действительного чувственного опыта. Это в свою очередь значит, что принципы кажутся тем более догматичными; чем больше они относятся к современному опыту, который далек от опыта повседневной жизни. Однако утверждение, что

принципы Эйнштейна являются более догматичными, чем теории традиционной физики, было интерпретировано посредством аналогий, взятых из нашего повседневного опыта. Слово догматичны было интерпретировано как имеющее то значение, что эти догмы, в данном случае принципы постоянства и относительности, навязываются ученым какими-либо властями, как в свое время навязывались народу догмы политические или религиозные. Следуя представлениям обыденного здравого смысла, часто говорили, что последователи теории относительности перестали искать законы природы путем тщательного и благоговейного исследования; они якобы больше не ищут законов природы путем тщательного ее анализа, а заставляют природу принимать те законы, которые физики хотят ей предписать.

Как бывает после каждого радикального изменения понятий в науке, стала разрабатываться начиная приблизительно с 1900 года «философия», которая интерпретировала возрастающую удаленность науки от понятий обыденного здравого смысла как своего рода дьявольскую склонность, благодаря которой человек все больше отделяется от своей «естественной» почвы. Как мы более подробно покажем ниже, всякая метафизическая интерпретация служит какой-либо моральной, религиозной или политической цели. Вообще говоря, она служит опорой для того, чтобы направлять человеческое поведение к желательным целям. В этой связи постепенно увеличивающееся расстояние между понятиями теории и понятиями непосредственного чувственного опыта интерпретировалось как «злонамеренная» попытка подорвать связь человека с природой и таким образом привести человека к моральной и религиозной извращенности.

В качестве примера мы можем процитировать немецкого философа Людвиг Клагеса, опубликовавшего книгу, которая в свое время была широко распространена и оказала влияние на развитие антиинтеллектуализма, который заботливо стремились поддерживать некоторые интеллектуалисты. Этот антиинтеллектуализм принадлежал к такого рода фило-

софии, которая готовила немцев и других континентальных европейцев к принятию в будущем нацистской философии. Согласно Клагесу, теория относительности раскрывает в философии даже плохо разбирающимся людям скрытую движущую силу интеллекта XX века в его видимых поисках знания. «Для этого интеллекта так называемые законы природы не являются больше предметом поисков; они предписываются по желанию и капризу. Интеллект так же безусловно антилогичен, как его отношение к действительности является ничем не ограниченным произволом».

Во время нацистского режима в Германии вера в то, что теория Эйнштейна «догматична», являлась чуть ли не «партийной линией» правящей партии. В статье, помещенной в «Journal for the Whole of Natural Science» («Журнал по вопросам естествознания в целом»), который защищал партийную линию в науках, автор так описывает нездоровые черты, которые развились, по его мнению, в физике XX века. Автор утверждает:

«Основное отношение между экспериментом и теорией было сдвинуто в пользу последней. Более того, эта теория разрабатывалась чисто формалистическим способом, без внимания к формам человеческой мысли и интуиции, без строгого методического мышления...»

В качестве самого яркого примера этой догматической формы теории автор приводит теорию относительности Эйнштейна:

«Ее исходной точкой является догма, принцип постоянства скорости света. Скорость света в вакууме должна быть постоянной независимо от движения источника света и наблюдателя. Ошибочно считалось, что это есть факт наблюдения».

Выдвижение и защита «догматических» теорий, вроде теории относительности Эйнштейна, часто приписывались особому типу злонамеренного мышления, целью которого было отвлечь человека от природы и направить его в западню, подготовленную его врагами. Согласно партийной линии, различие между «прагматическим» и «догматическим» типами науки объяснялось расовыми различиями между учеными.

Глава 8
ДВИЖЕНИЕ АТОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

1. Ньютон не был ньютономцем

В первой половине XIX века казалось установленным с высокой степенью достоверности, что все физические явления (в самом широком смысле этого термина) должны описываться с помощью модели движущихся частиц, подчиняющихся ньютоновским законам движения. Это значит, что сами по себе частицы движутся равномерно и прямолинейно относительно инерциальной системы; однако, когда действует сила, отклонение от равномерности и прямолинейности движений обратно пропорционально постоянной «массе» каждой частицы. В специальной теории относительности эта схема описания изменена путем введения понятия переменной массы, зависящей от обмена энергии между системой частиц и окружающей средой. В общей теории относительности не используется «инерциальная система» в качестве основной; в ней рассматриваются движения, которые в ньютоновской схеме приписывают «силе тяготения», как происходящие сами по себе.

Если мы будем рассматривать «релятивистские изменения» в ньютоновской схеме с точки зрения современной физики, то они покажутся очень незначительными. Следовательно, чрезвычайно важно понять, что ньютоновская механика была в корне изменена, когда

наука приступила к изучению очень малых частиц. Мы увидим, что эти изменения столь фундаментальны, что вряд ли даже можно говорить о «движении частиц».

В повседневном языке значение слов «движение частицы» кажется очень ясным. Вообразим, однако, однородную упругую среду очень малой плотности, заполняющую все мировое пространство. Только в одной точке P_0 среда имеет высокую плотность. Со временем этот максимум плотности может находиться в других точках, P_1 , P_2 , нашей среды. Он «распространяется» из P_0 к P_1 , P_2 и т. д. Ни одна частица среды не движется, распространяется только определенное свойство (плотность); но процесс в целом, то есть распространение максимума плотности через среду, посредством наблюдения нельзя отличить от действительного движения частицы. Оба процесса описываются в зависимости от времени t трех координат x , y , z частицы или максимума плотности: $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$.

Если описывать эти два явления на нашем повседневном языке, то следует сказать, что в одном случае «частица движется», тогда как в другом — «никакая частица не движется». Оба описания являются разумными с точки зрения здравого смысла картинами наблюдаемых явлений, и если нам известны лишь эти три функции $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$, то мы не можем решить, какая из этих двух картин является «истинной». Экспериментальное устройство, посредством которого мы проверяем наличие частицы в определенной точке x , y , z , тождественно устройству для проверки наличия максимума плотности. Для того чтобы прийти к такому решению, мы должны знать законы «действительного движения» и законы «распространения плотности». Тогда из этих законов мы можем вывести наблюдаемые следствия, которые могут быть различными в каждом отдельном случае. Сделать выбор между двумя гипотезами — значит сделать выбор между двумя системами законов. Описание определенного физического явления как дви-

жущихся частиц далеко не достаточно, если не укажем, по каким законам эти частицы движутся.

Практически с тех пор, как Ньютон опубликовал открытые им законы движения, считалось, что движение тел обычной величины подчиняется этим законам. Однако Ньютон отнюдь не был уверен в том, что эти законы управляют движением всех возможных частиц, например очень малых частиц. Согласно древней гипотезе, известной еще грекам, свет от излучающего тела распространяется в виде роя очень малых частиц, намного меньших по размеру, чем тела нашего повседневного окружения. Ньютон никогда не решался утверждать, что эти очень малые корпускулы движутся согласно его трем законам движения. В своей «Оптике» он выразился очень осторожно:

«Под лучами света я разумею его мельчайшие части... Ибо очевидно, что свет состоит из частей как последовательных, так и одновременных, потому что в одном и том же вы можете остановить части, приходящие в один момент, и пропустить приходящие в следующий, и в одно и то же время вы можете остановить свет в одном месте и пропустить его в другом... Наименьший свет или часть света, которая может быть остановлена одна, без остального света, или же распространяется одна, или совершает, или испытывает одно что-либо такое, чего не совершает и не испытывает остальной свет, я называю лучом света»¹.

Ньютон не определяет луч света как траекторию частицы или максимума плотности. Он не выводит форму этой траектории из какого-либо закона движения частицы или как-либо иначе. Он устанавливает серию аксиом, определяющих форму этих траекторий. Он определяет «преломляемость световых лучей» как «их предрасположение сворачивать со своего пути при переходе из одной прозрачной среды в другую». Он также формулирует аксиому о том, что «синус угла падения или точно, или очень близко находится в данном отношении к углу преломления». Если мы

¹ Ньютон, Оптика, стр. 9—10.

обозначим это отношение n (показатель преломления), а углы падения и преломления α и α' соответственно, то аксиома будет гласить $\sin \alpha / \sin \alpha' = n$. Если свет переходит из воздуха в воду, то эксперимент показывает, что $\alpha > \alpha'$ или $n > 1$. Эта аксиома предполагает, что формой светового луча в однородной среде (воздух или вода) является прямая линия.

Однако для того, чтобы описать законы светлых и темных полос, образующихся при прохождении световых лучей через тонкую, прозрачную пластинку, Ньютон вводит аксиому преломления падающего света, который проходит через границу между двумя средами:

«Каждый луч света при своем прохождении через любую преломляющую поверхность приобретает некоторое преходящее строение или состояние, которое при продвижении луча возвращается через равные интервалы и располагает луч при каждом возвращении к легкому прохождению через ближайшую преломляющую поверхность... Возвращения его расположения к прохождению я буду называть «приступами легкого прохождения», пространство, проходимое им между каждым возвращением и соседним, — интервалом его приступов»¹.

Этот интервал есть, конечно, то, что мы теперь называем «длиной волны» светового луча.

Мы, безусловно, не можем сказать, что, согласно утверждению, которое содержится в книге Ньютона «Оптика», движение частиц света определяется тремя ньютоновскими законами движения. Если мы будем пользоваться общепринятой терминологией, то едва ли сможем определить, является ли эта теория корпускулярной или волновой теорией оптических явлений. Однако Ньютон очень ясно представлял, что было бы весьма желательно вывести явления световых лучей из гипотезы, гласящей, что они суть траектории либо частиц, либо максимумов плотности в некой среде. В книге «Оптика» он категорически утвер-

¹ Ньютон, Оптика, стр. 211, 212.

ждал, что его целью является не объяснять свойства света посредством гипотез, а предлагать и доказывать их с помощью разума и экспериментов. Интересно отметить, что Ньютон называет метод, которым мы пользовались в нашем изложении геометрии в гл. 3, «доказательством с помощью разума и эксперимента», тогда как под «объяснением посредством гипотез» Ньютон имеет в виду выведение наблюдаемых фактов при помощи теории движения частиц или распространения максимумов плотности.

В «вопросах», помещенных в конце «Оптики», Ньютон обсуждает обе возможности. Более очевидной для Ньютона гипотезой было, конечно, предположение о том, что корпускулы света движутся согласно его трем законам движения. В этом случае мы должны были бы допустить закон для сил, которые действуют со стороны частиц среды (воздуха или воды) на проходящие сквозь них корпускулы света. Таким путем Ньютон вывел закон преломления. Он нашел, что благодаря силам, действующим со стороны частиц воды, свет ускоряется в воде, и если скорость корпускул в воздухе обозначить через c , а в воде — через c' , то $c' > c$. В этом случае Ньютон смог доказать, что $\sin \alpha / \sin \alpha' = c'/c > 1$. Прямолинейная форма светового луча в однородной среде в таком случае просто вытекает из закона инерции.

Однако если мы захотим также объяснить светлые и темные полосы, образующиеся когда луч света проходит через тонкую прозрачную пластинку, то мы не сможем вывести этот результат из трех законов движения, поскольку эти законы не объясняют того, что Ньютон назвал «приступами свободного пропускания». Поэтому Ньютон предложил добавочный закон:

«Для приведения лучей света в приступы легкого отражения и легкого прохождения требуется только, чтобы лучи были малыми телами, возбуждающими, благодаря их притягивательным или каким-либо другим силам, колебания в той среде, на которую они действуют; эти колебания быстрее, чем лучи, и последовательно обгоняют их, двигая их так, что попере-

менно скорости лучей увеличиваются и уменьшаются и получают приступы»¹.

Этот результат, конечно, не может быть выведен из трех ньютоновских законов движения, поскольку период (интервал) приступов не имеет места ни для какого закона силы. Следовательно, несомненно, что Ньютон не думал, что его законы движения достаточны для выведения движения корпускул света. Он сделал новое допущение, которое определенно имеет некоторое сходство с волновой механикой де Бройля.

2. Решающий эксперимент, опровергающий корпускулярную теорию света

Наряду с корпускулярной гипотезой во времена Ньютона существовала другая гипотеза, при помощи которой выводились закон преломления и другие оптические законы из предположения, что свет является распространением максимумов плотности, или сгущений в упругой среде, заполняющей все мировое пространство. Если в такой среде в одной точке P создается максимум плотности, то этот максимум будет распространяться с одинаковой скоростью во все стороны, образуя сферические поверхности равной плотности с центром в точке P . Поэтому не легко понять, как такая точка максимальной плотности может двигаться прямолинейно, как это имеет место при распространении световых лучей.

Эта гипотеза, гласящая, что свет состоит в распространении сгущений или уплотнений в среде, была разработана Гюйгенсом в теорию, из которой могли быть выведены законы отражения и преломления, включая частный случай прямолинейного распространения света. Для достижения этого результата Гюйгенс должен был ввести гипотезу, по которой при определенных условиях уплотнения могут гасить или усиливать друг друга. Эта гипотеза была известна как принцип Гюйгенса и излагалась во многих курсах

¹ Ньютон, Оптика, стр. 282.

элементарной физики. Однако Ньютону казалось, что эта гипотеза не заслуживает внимания, если с ее помощью «простейшее явление» — прямолинейный луч — не может быть объяснено простым способом. Он писал:

«Не ложны ли все те гипотезы, в которых предполагается, что свет состоит в давлении, или движении, распространяющемся сквозь жидкую среду?.. Ибо давление или движение не может распространяться в жидкости по прямым линиям за препятствием, которое останавливает часть движения, а будет изгибаться... за препятствием».

Из механики жидкостей следует, что скорость распространения c в воздухе больше, чем скорость c' в воде: $c' < c$. Гюйгенс же вывел заключение, что световые лучи, проходящие из воздуха в воду, преломляются согласно закону $\sin \alpha / \sin \alpha' = n = c/c' > 1$. Показатель преломления n больше единицы, как это показывает опыт и корпускулярная гипотеза. Из этой же гипотезы следует, что $n = c/c'$, тогда как из корпускулярной гипотезы следует, что $n = c'/c$. Очевидно, что мы должны были бы выбрать одну из двух гипотез, если бы мы могли измерением определить, что имеет место на самом деле, $c > c'$ или $c' > c$ — т. е. является ли скорость света большей в воде или в воздухе.

Однако возможность такого измерения во времена Ньютона и Гюйгенса была почти нереальной. Когда были разработаны наземные методы измерения скорости света, Араго в 1838 году предложил «решающий эксперимент», который должен был ответить на вопрос, «является ли свет материальным телом» или он состоит в распространении возмущений в упругой среде. Понятие распространения давления или плотности было в то время заменено понятием распространения поперечных колебаний, но проблема скорости распространения колебаний оставалась, по существу, той же самой. Араго писал о своем проекте:

«Система экспериментов, которую я собираюсь описать, позволит нам, как мне кажется, сделать выбор между двумя соперничающими теориями. Она

решит математически один из величайших и самых спорных вопросов натуральной философии».

Употребляя слово «математически», Араго подразумевает, что после наблюдения результатов задуманных им экспериментов можно будет вывести решение «логически». Если из теории *A* следует, что некое светлое пятно движется влево, а из противоположной теории следует, что это пятно движется вправо, то достаточно только наблюдения направления движения пятна. Если оно движется вправо, то логически следует, что оно *не* движется влево. Тогда опять-таки логически следует, что теория *A*, согласно правильным методам умозаключения, ведет к ложным результатам. Из этого опять-таки логически следует, что *A* — ложная теория. Однако корпускулярная теория *A* и волновая теория *B* не исчерпывают всех возможных теорий. Следовательно, в данном случае правильность теории *B* не вытекает необходимо из ложности теории *A*.

Этот эксперимент был фактически осуществлен Леоном Фуко в 1850 году, и мы приводим собственное описание его Араго, как оно приводится у Фуко:

«Два источника света, расположенные недалеко друг от друга на одной вертикали, испускают одновременно лучи света, которые отражаются от вращающегося зеркала. Свет верхнего источника достигает зеркала после прохождения через наполненную водой трубу; свет нижнего источника достигает зеркала, проходя лишь через воздух. Предполагается, что для наблюдателя зеркало поворачивается справа налево. Если права эмиссионная теория (корпускулярная теория), согласно которой свет есть материя, то верхний источник будет виден слева от нижнего источника (после отражения вращающимся зеркалом); он будет виден справа от него, если, наоборот, свет есть колебательный процесс, распространяющийся в эфирной среде»¹.

Араго старается далее насколько можно яснее сформулировать утверждение, что его эксперимент есть решающий эксперимент.

¹ «Recueil des Travaux Scientifiques de Léon Foucault».

«Появляется ли изображение верхнего источника от другого изображения?

Свет есть тело.

Имеет ли место обратное? Появляется ли изображение верхнего источника справа?

Свет есть волновое движение».

Когда Фуко провел эксперимент, он обнаружил, что изображение верхнего источника появилось справа. Из этого он в согласии с логическим доказательством Араго заключил, что свет *не* состоит из движущихся частиц. Мы не можем, конечно, заключить, что свет есть волновое движение в некоей среде, потому что мы не можем доказать, что волновая теория является единственной альтернативой корпускулярной теории. С другой стороны, не было разработано никакой другой теории, кроме волновой, в той форме, которую ей придали Юнг и Френель, по которой свет состоит в распространении поперечных волн в упругой среде. Таким образом, практически эксперимент Фуко 1850 года рассматривался как определенное подтверждение волновой теории Юнга — Френеля.

Если рассуждать строго и логично, то эксперимент доказывает лишь, что волновая теория *может быть* правильной. Если мы скажем, что «решающий эксперимент» показывает, что волновая теория, *весьма вероятно, истинна*, то это утверждение будет правильным только в том случае, если мы перечислим, при каких допущениях она будет таковой. Это допущение, очевидно, состоит в том, что теория, которая была подтверждена очень большим числом экспериментов и ни одним не была опровергнута, весьма вероятно, является правильной. Но и это опять-таки правильно только при следующем допущении: в малой степени вероятно, что одновременно с очень хорошо подтвержденной теорией и никогда не опровергнутой теорией существует альтернативная теория, обладающая теми же качествами. «Решающий эксперимент» Араго доказывает правильность волновой гипотезы только в том случае, если мы допустим, что не существует никакой другой альтернативной теории света по отношению к ньютоновской корпускулярной, кроме волновой

теории Юнга и Френеля. Конечно, нет никакого основания полагать, что это так с точки зрения логики. С эмпирической точки зрения, конечно, верно, что число гипотез и теорий, которые были бы тщательно разработаны и подтверждены в опыте, всегда было мало. Поэтому казалось бы, что, исключая одну за другой с помощью решающих экспериментов, можно в конце концов дойти до «истинной» гипотезы.

Эта вера в небольшое число теорий, вероятно, имеет своим источником аналогию между теориями и организмами. Если мы посмотрим, например, на животных, то увидим, что существует ограниченное число видов с ограниченным числом различий между ними. Если мы сравним, например, слона и страуса, то убедимся, что они очень различны и что между ними нет непрерывной цепи переходов. Легко рассмотреть «решающий эксперимент», посредством которого мы можем определять, является ли конкретное животное слонем. Нам нужно только убедиться, что оно имеет хобот, так как никакое другое животное хобота не имеет. Такой поверхностный эксперимент достаточен, чтобы доказать, что данное животное есть слон. Не существует животных, которые, подобно слонам, имели бы хоботы и выглядели бы иначе, как выглядят, например, страусы. С другой стороны, если мы найдем на животном страусовое перо, то мы можем быть уверены, что это страус, потому что не существует животного, которое имело бы одно страусовое перо, а во всем остальном было бы слонем. Это, вероятно, и есть то, что имел в виду Дюгем, когда заявлял, что решающие эксперименты применяются в биологии, но не в физике.

Из всех этих положений ясно следует, что решающий эксперимент Араго доказал правильность волновой теории света Френеля лишь при очень определенных допущениях. Если мы, однако, скажем, что она раз и навсегда устранила ньютоновскую корпускулярную теорию света, то мы должны также учитывать, что это «устранение» было достигнуто при очень определенных и довольно произвольных допущениях. В действительности с помощью эксперимента Араго

были «устранены» только те гипотезы, по которым предполагалось, что скорость света в воде больше, чем в воздухе. Однако это вытекает не из корпускулярной гипотезы самой по себе, а из дополнительной гипотезы, что частицы движутся согласно законам Ньютона и приобретают ускорение, когда проходят через воду. Если эта возросшая скорость не согласуется с наблюдением, то мы не можем сказать, получилась ли бы эта возросшая скорость в случае, если бы частицы двигались или если бы они притягивались водой по другим законам. На самом деле эксперимент Араго «устраняет» только комбинацию: гипотеза частиц плюс законы движения и силы в воде. Мы можем поэтому без какого-либо логического противоречия допустить, что сама корпускулярная гипотеза не устраняется. Она могла бы еще держаться, если бы были допущены другие законы движения или силы в воде.

Подведем итог этим соображениям о решающем эксперименте Араго: он не устраняет возможности корпускулярной теории, которая могла бы объяснить все явления, которые были выведены из волновой теории Френеля. Однако такая новая теория не выдвигалась до тех пор, пока не был придуман новый решающий эксперимент, который подверг выбор между корпускулярной теорией и волновой теорией новому испытанию, в результате которого волновая теория в свою очередь была устранена.

3. Второй «решающий эксперимент»

После эксперимента Фуко в 1850 году волновая теория света получила всеобщее признание и лишь подверглась видоизменению после появления трудов Джемса Кларка Максвелла и Генриха Герца, которые упругие колебания заменили электромагнитными. В 1902 году был опять поставлен решающий эксперимент, который должен был положить конец спору между сторонниками корпускулярной теории и волновой теории света; Филипп Ленард, который его осуще-

ствил, не придавал такого значения своему эксперименту, какое придавал ему Араго. И действительно эксперимент Ленарда не признавался решающим до 1905 года, когда Эйнштейн обратил на него внимание физиков. Мы, однако, будем рассматривать этот эксперимент так, как если бы он был задуман в виде решающего эксперимента, предназначенного для решения спора между двумя теориями света. Мы знаем (из § 2), что результат эксперимента Араго не исключал возможности такого второго решающего эксперимента, который мог бы дать противоположный результат.

Мы исходим из того, что свет излучается источником, находящимся в точке P , и поглощается плоским экраном, поставленным перпендикулярно к лучам на расстоянии r от источника и имеющим небольшую площадь a . Если энергия, испускаемая источником в точке P в единицу времени, есть L (яркость света), то энергия, которая попадает на a в единицу времени, есть $La/4\pi r^2$ (поскольку на расстоянии r лучистая энергия распределена на сфере площадью $4\pi r^2$). Примем далее, что можно измерить лучистую энергию, которая попадает на экран в единицу времени. Если мы предположим, что волновая теория правильна, то L есть постоянная, и $La/4\pi r^2$ бесконечно уменьшается при увеличении r . Если мы будем отодвигать экран все дальше и дальше, то световая энергия, попадающая на экран в единицу времени, будет стремиться даже к нулю. Если же мы предположим, что из точки P испускаются «частицы», например n частиц в единицу времени, каждая из которых обладает энергией l , то результат будет другой; тогда энергия, попадающая на экран в единицу времени, будет $nla/4\pi r^2$, однако энергия, поглощаемая экраном, никогда не может быть меньше, чем энергия одной частицы ($n = 1$). Она может быть нулем только в том случае, если все частицы пройдут мимо экрана ($n = 0$).

Мы можем, следовательно, поставить следующий эксперимент: если мы будем отодвигать экран площадью a все дальше и дальше от точки P , то в этом случае поглощаемая световая энергия будет неогра-

ниченно уменьшаться или она достигнет минимума, а затем резко упадет до нуля. Для того чтобы осуществить этот эксперимент, мы должны быть в состоянии измерять очень малые количества энергии, что может быть сделано с помощью фотоэлектрического эффекта. Если свет падает на поверхность какого-либо металла, то с этой поверхности испускаются электроны и энергия этих «фотоэлектронов» служит мерой световой энергии, поглощаемой этой поверхностью. Как мы уже упоминали, Филипп Ленард обнаружил, что энергия, поглощаемая металлом, всегда бывает выше определенного уровня, то есть энергии, попадающей на поверхность «частицы света». Волновая теория требует, чтобы эта поглощаемая энергия стремилась к нулю по мере увеличения расстояния от источника света. Эксперимент же Ленарда окончательно доказал, что нижний предел излучения, поглощаемого экраном по мере увеличения расстояния до источника, не зависит от этого расстояния и определяется только цветом (частотой) света. Этот эксперимент «устранил» волновую теорию в ее классической форме, данной Френелем, и доказал, что корпускулярная теория возможна.

Корпускулярная теория, которая допускается в этом доказательстве, не содержит, в противоположность ньютоновской теории, никаких законов, согласно которым частицы притягиваются материей, а включает только допущение, что они прямолинейно движутся в пустом пространстве. Если мы хотим подвести итог, даваемый обоими решающими экспериментами, то должны отметить, что как корпускулярная теория, так и волновая теория в их классической форме этими экспериментами устраняются. Правильная теория должна отличаться от обеих. Поскольку очень многие заключения, выведенные из этих «классических» теорий, оказались в согласии с опытом, постольку новая теория, очевидно, должна содержать некоторые черты корпускулярной и некоторые черты волновой теории. Это значит, что новая теория при некоторых обстоятельствах приведет к тем же результатам, к каким приводила и одна из старых, но нет

никакого логического основания говорить, что новая теория будет чем-то вроде «суммы» старых, или, как говорят некоторые, что свет должен быть и «волной» и «частицей» одновременно.

Когда Эйнштейн в 1905 году указал, что этот «второй решающий эксперимент» «устранил» волновую теорию, он пытался изменить ее как можно меньше. Однако он должен был внести такие изменения, которые привели бы «обновленную» волновую теорию к согласию с экспериментом Ленарда. На основании волновой теории в ее классической форме делали заключение, что энергия колебания для равных площадей сферической волновой поверхности имеет одно и то же значение, но это значение уменьшается по мере того, как увеличивается расстояние от источника. Этот результат экспериментом Ленарда опровергнут. Эйнштейн предположил, что энергия распределяется по фронту волн не равномерно, а концентрируется порциями, называемыми *световыми квантами*, или *фотонами*, которые являются частью электромагнитной радиации и движутся со скоростью света. Это, конечно, явно противоречит основным законам электромагнитного поля. Следовательно, на большом расстоянии от источника света на экран площадью a никогда не будет попадать энергии меньше энергии одного фотона. Сумма всей энергии, поглощаемой экраном, есть сумма энергий всех поглощенных фотонов; следовательно, на больших расстояниях в единицу времени поглощается или один фотон, или ни одного.

Эксперимент Ленарда показывает, что испускаемый источником свет, попадающий на металл и производящий истечение фотоэлектронов, действительно следует этой схеме. Устраняя волновую теорию, он подтверждает корпускулярную теорию в том смысле, что свет испускается источником определенными порциями, получившими название световых квантов или фотонов. Конечно, эксперимент показывает только то, что можно допустить, что свет испускается в виде массы таких *порций*, но движение этих частиц невозможно объяснить, исходя из ньютоновских за-

конов, чтобы не противоречить решающему эксперименту Араго. Для того чтобы изменять волновую теорию как можно меньше, Эйнштейн предположил, что свет есть действительно волновой процесс в виде электромагнитных волн, но что энергия не должна распределяться в волне равномерно. Должно иметь место сгущение энергии, которая будет распространяться в виде порции таким образом, что на экран никогда не будет попадать меньше одной порции. Каждая порция имеет одно и то же количество энергии, если только частота света остается одной и той же. Эксперимент Ленарда показал, что энергия каждой E порции пропорциональна частоте света: $E = h\nu$, где ν — частота света при предположении его монохроматичности и h — универсальная постоянная, называемая постоянной Планка.

4. Законы движения для квантов света

Поскольку фотоны являются частью электромагнитной волны, постольку они движутся со скоростью света. Это сильно отличает их от частиц, с которыми имеет дело ньютоновская механика; последние могут находиться в состоянии покоя или иметь любую скорость, тогда как фотоны всегда движутся со скоростью света и никогда не могут находиться в покое. Число фотонов, поглощаемых экраном, определяет всю сумму поглощаемой световой энергии. Следовательно, все оптические явления должны отныне описываться как движения фотонов. Мы уже говорили, что выражение: свет состоит из «частиц», не имеет точного смысла, если мы не сформулируем законов движения этих частиц. Как мы теперь знаем и узнаем более детально, фотоны подчиняются законам, сильно отличающимся от законов движения, которым подчиняются тела в механике Ньютона. Следовательно, вопрос о том, давать или не давать фотонам наименование «частица», является более или менее делом вкуса.

Самые важные оптические явления хорошо объясняются с точки зрения волновой теории. Ясно, что

введение фотонов не должно изменить это положение вещей. Всякое оптическое явление в конечном счете описывается как распределение светлых и темных пятен на экране или с помощью физико-химических эффектов наличия или отсутствия освещенности на каком-либо теле. При обычных обстоятельствах мы должны требовать, чтобы фотоны подчинялись таким законам движения, которые приводили бы к одним и тем же распределениям светлых и темных мест, получающихся согласно волновой теории. Как мы узнали из второго «решающего эксперимента», волновая теория ведет к неправильным результатам, если плотность световой энергии становится очень малой. Фотоэлектрический эффект показывает отклонение от волновой теории, если на наблюдаемую площадь падает небольшое число фотонов.

Самыми характерными результатами, выведенными из волновой теории, являются интерференция и диффракция. Они согласуются с результатами наблюдения. Эксперименты по интерференции и диффракции были действительно самым убедительным доказательством правильности волновой теории. Мы не будем широко освещать эти явления и опишем лишь типичный диффракционный эксперимент: прохождение света через две щели в диафрагме. Щели разделены небольшим расстоянием d , а длина волны света λ . Для того чтобы проверить, как влияет на свет прохождение его через щели, экран устанавливается за диафрагмой на расстоянии D . Если пучок световых лучей перпендикулярен к диафрагме, то на экране мы видим светлые и темные полосы. Появляется светлая полоса в центре и другие параллельные ей светлые полосы, разделенные темными полосами. Если длина волны λ мала по сравнению с расстоянием a между щелями, то расстояние между яркими полосами на экране будет приблизительно $D\lambda/a$.

С точки зрения волновой теории это явление (диффракция) получается следующим образом: из каждой щели волны распространяются за диафрагму. Эти две волны взаимодействуют путем наложения колебаний друг на друга, «интерферируя». Там, где

накладываются гребни волн, получаются светлые места, там же, где гребни налагаются на впадины, получаются темные места. Говоря математически, где длина пути света, идущего из обеих щелей, отличается друг от друга на одну длину волны или на целое число длин волн (λ , 2λ , 3λ , ...), там получается светлое место, а если эта разность путей света составляет нечетное число половин длин волн ($\lambda/2$, $3\lambda/2$, ...), там получается темное место.

Мы должны теперь описать это основное оптическое явление с помощью понятия «фотона». На экран падает не сплошной фронт волны, а порции энергии, называемые фотонами. То, что мы выше называли «темными полосами» на экране, теперь мы рассматриваем как места, куда не падает никаких фотонов, тогда как яркие полосы суть места, где на экран падает большое число фотонов. Отсюда мы говорим, что входящий пучок световых лучей разделяется диафрагмой на два пучка, проходящих через две щели; затем из каждой щели рои фотонов попадают в пространство между диафрагмой и экраном. В щели фотоны отклоняются таким образом, что большинство из них падает на экран в светлых местах, тогда как только немногие попадают в темные места, точнее говоря, большинство фотонов продолжает свой путь перпендикулярно к экрану (по направлению падающего пучка), значительное число их отклоняется на расстояние $D\lambda/a$ вправо и влево, тогда как небольшое число их отклоняется на расстояния $2D\lambda/a$, $3D\lambda/a$, ...

Если мы попытаемся вывести из этих следствий классической волновой теории закон движения отдельного фотона, то встретимся с большими трудностями. Возьмем две щели S_1 и S_2 на расстоянии a друг от друга. Когда какой-то отдельный фотон проходит сквозь щель S_1 , мы знаем при этом только то, что из роя фотонов, проходящих частично через S_1 и частично через S_2 , большинство попадет на экран в светлые места и немного—в темные. Но если мы возьмем только один фотон, проходящий через S_1 , мы знаем только то, что он должен упасть на экран в такой точке, что конечная картина падений роя будет

классической дифракционной картиной волновой теории. Эта картина определяется расстоянием a между щелями, но ведь начальные условия нашего эксперимента, имеющего дело с одной щелью S_1 , не содержит a . Если бы мы поставили аналогичный эксперимент, взяв щель S , то попали бы в такое же затруднение. По-видимому, невозможно рассматривать классическую дифракционную картину от двух щелей как наложение друг на друга движений отдельных фотонов, которые проходят через отдельные щели согласно закону движения каждого фотона.

В то же время, мы легко можем представить себе и осуществить следующий эксперимент: имеется источник фотонов очень слабой интенсивности, например испускающий только один фотон в секунду; мы наблюдаем их прохождение через наши две щели и их попадание на экран. В этом случае дифракционная картина с расстоянием между полосами $f = D\lambda/a$ ясно определяется начальными условиями нашего эксперимента: источником света, двумя щелями и экраном. Если мы подождем, пока пройдет большое число фотонов, то сможем предсказать, что в результате этих многих попаданий мы будем наблюдать полосы, разделенные расстоянием $D\lambda/a$. Если мы закроем одну из щелей, эта картина исчезнет; мы будем видеть другую картину (зависящую от ширины щели), которую не будем здесь рассматривать. Дифракционная картина для двух щелей не будет наложением дифракционных картин двух отдельных щелей. Следовательно, не существует закона движения, который определял бы траекторию одного отдельного фотона и позволил бы нам объяснять наблюдаемые факты, которые имеют место при прохождении фотонов через две щели.

Это приводит к очень важному изменению общей схемы физики, особенно схемы законов движения. В то время как физика Ньютона, включая теорию относительности, строится на основе траекторий частиц, новая теория, как мы можем видеть, ведет к понятию частиц (фотонов), но не сводит наблюдаемые факты к траекториям, по которым движутся эти частицы.

Все что мы можем сделать, это предсказать результаты наблюдений на данной экспериментальной установке, не будучи в состоянии описать их с помощью представления о траекториях частиц.

Если мы рассмотрим источник света L и светлое пятно на экране, образуемое испускаемыми из L фотонами, то обнаружим, что новая измененная волновая теория не может ответить на вопрос, через какую щель диафрагмы, S_1 или S_2 , прошли создавшие это пятно фотоны. Мы рассмотрим это доказательство более обстоятельно, когда перейдем к новым законам движения материальных частиц, которые должны заменить ньютоновские законы движения.

5. Законы движения очень малых материальных частиц

Лаплас в своем знаменитом высказывании о всеведущем духе, который знает все начальные положения и скорости всех частиц во вселенной, утверждал, что этот дух мог бы предсказать будущее вселенной, исходя из ньютоновских законов движения, если только он к тому же и идеальный математик, который может интегрировать дифференциальные уравнения движения при любых начальных условиях. Лаплас ясно говорит, что это утверждение безоговорочно предполагает, что все частицы, даже малые атомы, подчиняются одним и тем же законам движения, которые выдвинул Ньютон, чтобы вывести движения небесных тел. Успехи атомной физики в XX веке, по видимому, показывают, что движения субатомных частиц, таких, как электроны или ядра, на самом деле не выводятся из ньютоновских законов.

Наиболее известным примером является движение электронов вокруг ядра атома водорода, согласно теории Нильса Бора. Согласно законам Ньютона, отрицательно заряженный электрон двигался бы вокруг положительного ядра по круговой орбите любого радиуса, но Бор показал, что спектральные линии, испускаемые водородом, могут быть выведены

правильно лишь в том случае, если мы допустим, что возможны движения по круговым орбитам только определенных радиусов. Это значит, что должны существовать законы, исключаящие большинство орбит, определяемых законами движения Ньютона. Приведем простой пример: в случае атома водорода единственными орбитами, которые совместимы с наблюдаемыми спектральными линиями, являются те, момент количества движения которых выражается целым кратным числом определенной постоянной, которая равна $h/2\pi$, где h — постоянная Планка, встретившаяся нам в предыдущем параграфе в выражении энергии светового кванта частоты ν . Эта энергия кванта $h\nu$ измеряется в фотоэлектрическом эффекте и, следовательно, h может быть определена. Ограничение Бора нельзя вывести из классической механики. Тогда встал вопрос о том, как надо изменить ньютоновскую механику, чтобы среди возможных траекторий можно было выбрать некоторые особые, как единственно возможные.

Решение этого вопроса принадлежит французу Луи де Бройлю, который в то время был ученым-историком и физиком-любителем. Его заинтересовали фотоны как частицы, движения которых определялись не законами механики, а законами диффракции. Если длина волны света мала по сравнению с размерами препятствий или отверстий, то траекториями фотонов являются лучи в смысле геометрической оптики; они могут рассматриваться как траектории частиц. Однако при прохождении через небольшие отверстия или около небольших препятствий пути фотонов определяются волновой теорией и концепция траектории должна быть отброшена полностью. Идея де Бройля заключалась в том, чтобы трактовать движение малых частиц таким же образом. Его отправным пунктом было обстоятельство, что в оптике только очень частный тип явлений может быть описан с помощью пучков световых лучей и их ортогональных поверхностей, то есть поверхностей фронта волн. Оптические же явления в общем плане описываются с помощью «волнового уравнения» — дифференциального уравне-

ния второго порядка. Решение этого уравнения может быть истолковано в смысле пучка лучей и некоторого ортогонального семейства волновых поверхностей, когда все препятствия или щели имеют размеры, очень большие по сравнению с длиной световой волны. Де Бройль считал, что, возможно, траектории частиц в ньютоновской механике играют ту же роль, что и пути световых лучей в оптике; может быть, эти траектории описывают только очень специальный тип движения. В механике могут иметь место явления, которые описываются обобщенной механикой, находящейся в таком же отношении к ньютоновской механике траекторий, в каком общая волновая теория света находится к геометрической оптике световых лучей, или фотонов, движущихся по определенным траекториям.

Для того чтобы формулировать это обобщение, де Бройль предположил, что можно ввести такой тип волн (названных им «волнами материи» и известных под названием волн де Бройля), которые объясняют траектории материальных частиц с помощью теории дифракции таким же образом, как общая волновая теория объясняет пути световых лучей. Было ясно, что движущийся фотон имеет длину волны λ , равную длине световой волны, частью которой этот фотон является. Для того чтобы приписать длину волны движущейся частице, имеющей массу m и скорость v , была необходима новая гипотеза, и она действительно была выдвинута де Бройлем. Она была простой и естественной. Когда Эйнштейн ввел фотоны, он сосредоточил свое внимание на механическом импульсе фотона. Из общей теории электромагнитного поля следует, что каждая порция электромагнитной энергии E , распространяющаяся со скоростью c , оказывает давление (световое давление) на то материальное тело, на которое она падает; следовательно, она сообщает этому телу некоторый импульс p . Из теории электромагнитного поля Максвелла математически следует, что этот импульс равен $p = E/c$. Это дало основание Эйнштейну заключить, что импульс фотона (энергия $E = h\nu$) $p = h\nu/c$ или h/λ , поскольку длина волны

связана с частотой ν посредством соотношения $h\nu = \epsilon$. Если, с другой стороны, частица массы m движется со скоростью v (малой по сравнению со скоростью света c), то импульс этой частицы, согласно ньютоновским законам, есть $p = mv$. Гипотеза де Бройля заключалась просто в том, что движение частицы определяется радиацией, фотоны которой имеют тот же импульс, что и частица. Это значит, что длина волны λ этой радиации определяется соотношением $p = mv = h\nu/c = h/\lambda$ или $\lambda = h/mv$, известным как «соотношение де Бройля». В таком случае закон движения частиц таков:

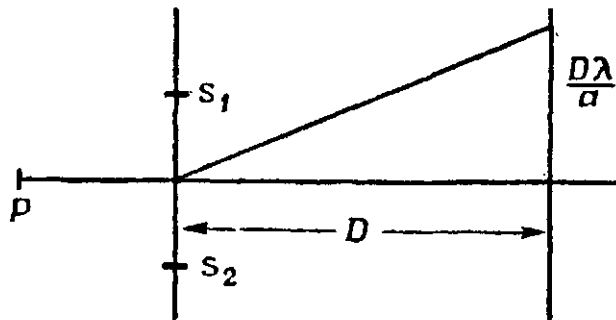


Рис. 34.

Если малые частицы, обладающие массой m и скоростью v , движутся сквозь щели в диафрагме или около препятствия, то они ведут себя как фотоны с длиной волны $\lambda = h/mv$, то есть длиной волны де Бройля.

Опишем типичный эксперимент: источник электронов (заряженных частиц) P , диафрагма с двумя щелями S_1 и S_2 и экран, параллельный диафрагме на расстоянии D от последней. P может быть расположен симметрично по отношению к S_1 и S_2 (рис. 34). Если расстояние S_1S_2 мало, то частица, идущая из P через S_1 или S_2 и падающая на экран, будет двигаться почти перпендикулярно к диафрагме. Для того чтобы можно было наблюдать попадание частиц на экран, допустим, что последний покрыт сульфидом цинка; тогда любое попадание будет создавать свет-

лое пятно. Что происходит, когда луч, состоящий из электронов, испускается из P , проходит через щели и падает на экран? Если частицы имеют массу m и скорость v , то волна де Бройля с длиной волны $\lambda = h/mv$ испускается из P , проходит через две щели и создает на экране диффракционную картину, состоящую из яркой центральной полосы, параллельной яркой полосе на расстоянии $D\lambda/a = Dh/mva$, и других более слабых полос. Если число электронов, падающих в единицу времени, очень велико, то полосы создаются почти немедленно; но если плотность потока электронов невысокая, так что электроны падают на экран только с большими интервалами, то вспышки будут появляться чаще всего в центральной области, очень редко в темных местах между полосами и довольно часто в области первых ярких полос справа и слева на расстоянии $D\lambda/a = Dh/mva$. Если заданы условия эксперимента, то мы можем однозначно вычислить его результат — статистическое распределение вспышек на экране.

Значит ли это, что мы знаем закон движения одной отдельной частицы? Безусловно, не существует закона, на основе которого можно было бы утверждать, где отдельная частица достигнет экрана; и более того, если мы будем знать место падения частицы на экран, то нет способа узнать, прошла ли эта частица через щель S_1 или S_2 диафрагмы. Поэтому мы можем сказать, что теория де Бройля позволяет описать доступные наблюдению результаты при доступных наблюдениях начальных условиях, но не определяет «траекторию частицы». Для лучшего понимания было бы полезно рассматривать два специальных крайних случая. Сначала предположим, что щель S_2 закрыта. Если мы пренебрежем диффракцией, производимой отдельной щелью, то прохождение электронов через S_1 не создаст никакого изменения в распределении ярких и темных полос. Электроны падают на экран так же часто в центральной области, как и в «темном месте». Вспышки будут распределяться по экрану равномерно. С другой стороны, если две щели расположены друг от друга на

большом расстоянии, то есть если расстояние a велико по сравнению с λ , то расстояние от первой полосы до центральной стремится к нулю и полосы сливаются с центральной. Все частицы падают на экран в центральной зоне, и за ее пределами образуется темнота. Результат эксперимента рассчитывается по доступным наблюдениям начальным условиям при помощи математической теории интерференции волн при наличии двух щелей S_1 и S_2 . Такие расчеты говорят нам, как много вспышек мы будем наблюдать в любой области экрана, но из них не вытекает никаких выводов о траекториях частиц при их движении от источника через диафрагму до экрана.

Глава 9
НОВЫЙ ЯЗЫК АТОМНОГО МИРА

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга

Законы движения для малых частиц формулируются таким образом, что они связывают доступные наблюдению начальные условия с наблюдаемыми результатами; законы ничего не говорят о «движущихся» частицах. Ученый всегда испытывал потребность в как можно более долгом сохранении традиционных законов движения. Они впитали в себя язык нашего обыденного здравого смысла, и, конечно, удобно употреблять этот язык как можно дольше. При употреблении языка здравого смысла воображение ученого работает свободнее и легче, чем при употреблении абстрактного языка, где каждый результат достигается путем постепенного, формального рассуждения.

Если мы снова возьмем рой частиц, проходящих сквозь две щели S_1 и S_2 диафрагмы, то сможем описать ситуацию следующим образом: волна проходит через обе щели и создает интерференцию на другой стороне. Было бы странным говорить о маленькой частице, что она одна проходит через обе щели. Было бы лучше сказать, что частица проходит сквозь диафрагму, но что точное место ее прохождения описывается с неопределенностью a , потому что расстояние между щелями, через которые она проходит, равно a .

В ньютоновской механике начальными условиями движения являются положение (координаты) и скорость (или импульс). Если они имеются для частицы, то можно предсказать ее будущее движение, исходя из ньютоновских законов движения. Из вышеописанного случая применения теории де Бройля к прохождению частиц через две щели мы узнали, что неопределенность в положении (или в координате x) частицы равна a .

Есть ли также «неопределенность» в задании начальной скорости — говоря точно, в x -й компоненте скорости? Из теории диффракции мы узнали, что большинство частиц продолжает двигаться или перпендикулярно к экрану за диафрагмой ($y = 0$), или отклоняется на угол $\varphi = \lambda/a = h/mva$. Следовательно, соответствующие x -е компоненты импульса p_x суть $p_x = 0$ и $p_x = p\varphi = h/a$. Отсюда ясно, что «неопределенность» в значении импульса есть $p_x = h/a$.

Следовательно, если мы обозначим неопределенность в координате x через Δx , а неопределенность в x -й компоненте импульса через Δp_x , то мы имеем $\Delta x = a$, $\Delta p_x = h/a$ и, следовательно, $\Delta x \cdot \Delta p_x = h$. Это и есть знаменитый «принцип неопределенности», впервые выдвинутый немецким физиком Вернером Гейзенбергом. Согласно этому принципу, произведение неопределенностей координаты и импульса частицы равно постоянной Планка h ($h = 6.55 \cdot 10^{-27}$ эрг/сек). Очевидно, что эта формула может быть установлена очень хорошо без употребления психологического термина «неопределенность». Эта формула отражает эмпирический физический факт, диффракцию частиц, обусловленную двумя щелями. В этой формуле лишь утверждается: если щели S_1 и S_2 разделены расстоянием a , то частицы, которые отклоняются от направления, перпендикулярного к $S_1 \rightarrow S_2$, имеют импульс h/a в x -направлении.

Если мы отбросим теорию диффракции, которая пользуется математической схемой наложения волн, то для того чтобы получить результат и попытаться сформулировать законы этого явления в терминах движения частиц, мы можем сказать: если поло-

жение частицы при прохождении сквозь диафрагму определяется при постановке эксперимента с неопределенностью a в направлении оси x , то импульс (в x -направлении) частиц за диафрагмой определяется с неопределенностью h/a . Мы видим, что «неопределенности» определяются постановкой эксперимента, а не субъективными состояниями сознания наблюдателя.

Полезно исследовать два крайних случая неопределенности положения. Первый заключается в том,

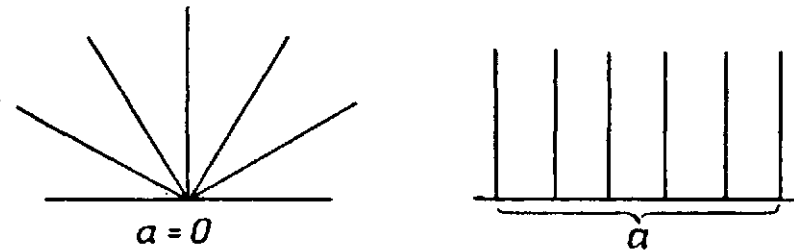


Рис. 35.

что неопределенность исчезает ($a = 0$); тогда мы имеем только одну щель. Если мы снова отвлечемся от диффракции благодаря ширине щели, то частицы диффрагируют за диафрагмой одинаково во всех направлениях. Вспышки покрывают экран с равномерной плотностью. Тогда направления импульсов распределяются равномерно; направление движения одной отдельной проходящей частицы полностью неопределенно или совершенно неопределимо. Другой крайний случай заключается в том, что расстояние между двумя щелями настолько велико, что на λ/a можно не обращать внимания. Это значит, что $\varphi = 0$; моменты всех частиц направлены перпендикулярно к диафрагме (рис. 35). В первом случае x -я компонента импульса была совершенно неопределенной; поэтому направление скорости частицы было неопределенным. Во втором случае положение частицы по оси x определено или очень мало определено, потому что расстояние a между щелями велико. Однако на-

правление импульса или скорости строго или почти строго определено; оно перпендикулярно к диафрагме.

В обоих этих случаях мы до известной степени можем воспользоваться ньютоновским законом инерции для предсказания будущего движения, исходя из настоящего состояния. В первом случае мы знаем точное положение частицы при ее прохождении через экран; отсюда мы можем заключить, что частица может двигаться в любом направлении, не отдавая предпочтения ни одному из этих направлений. Во втором случае мы знаем начальное направление движения, но не знаем ничего определенного о положении частицы при прохождении через щели; тогда все частицы будут двигаться в направлении, перпендикулярном к диафрагме, пока не упадут на экран. В первом случае для предсказания будущего движения на основе ньютоновской механики мы пользуемся только положением частиц; во втором мы используем только скорость. Если мы не интересуемся ни одним из этих крайних случаев, то наше предсказание выглядит следующим образом: нам дана неопределенность положения a , тогда следует неопределенность импульса h/a , которая в свою очередь ведет к диффракции электронов, проходящих через две щели. Если $a = 0$, то направление диффрагированной частицы полностью неопределенно; по мере того как неопределенность a возрастает, линии диффракции становятся все более и более определенными, пока, наконец (для большого a), все частицы не будут двигаться без какой-либо неопределенности в направлении.

Отсюда ясно, что начальные условия для движущихся частиц в ньютоновской механике полностью отличаются от начальных условий для электронов, проходящих через щели. В ньютоновской механике начальными условиями являются положение и скорость каждой частицы. В механике же малых частиц, основанной на волновой механике де Бройля, начальными условиями являются неопределенность положения, зависящая от отверстий в диафрагме, и связан-

ная с нею неопределенность импульсов. В двух крайних случаях начальные условия следующие: в первом случае — точное положение частицы с полной неопределенностью импульса; и во втором случае — точное направление импульса с большой неопределенностью положения. Если мы хотим выразить это несколько иначе и все же сохранить «ослабленные» принципы ньютоновской механики, то можем сказать: в первом случае мы имеем частицу, которая имеет положение, но не имеет импульса, во втором же случае — частицу, которая имеет импульс, но не имеет положения. В обоих случаях можно для них сделать выводы, которые непосредственно вытекают из ньютоновских законов: исходя из того, что если дана одна динамическая переменная (координата или скорость), а другая может иметь любое значение.

До сих пор мы пытались говорить только о наблюдаемых физических фактах. Под словом «неопределенность» мы имели в виду не состояние сознания какого-либо физика, а предельную область, в которой содержались бы координаты частицы, если бы мы описывали наблюдаемые факты, пользуясь представлением о частицах. Однако если мы хотим строго придерживаться наблюдаемых фактов, то мы должны устранить одно выражение, которое мы употребляли, не определяя его через наблюдаемые факты, именно выражение импульс частицы в x -направлении. Мы ввели угол φ , на который отклоняется проходящая частица. Мы исходим из допущения, что угол φ может быть измерен посредством наблюдения за расположением вспышек на экране. Затем мы предположили, что частица движется от щели к этой точке в определенном направлении, которое является направлением импульса p частицы. Его проекция на экран, p_x , есть импульс по направлению оси x . Однако мы знаем, что не существует частицы в ньютоновском смысле, движущейся от щели к экрану. Поэтому если иметь дело с наблюдаемыми величинами, то угол φ нельзя интерпретировать как направление импульса частицы.

Нильс Бор предложил определение x — компоненты импульса, являющееся настоящим «операциональным» определением: если частица проходит через щель со скоростью v под углом φ , то импульс в x -направлении при прохождении через щель равен $mv\varphi$. Следовательно, частица будет сообщать диафрагме импульс $mv\varphi$ по направлению оси x . Описывая диффракционную картину расположения вспышек падающих частиц на экране, мы молчаливо предполагали, что все наше устройство (источник частиц, диафрагма и экран) жестко скреплено рамой, жестко скрепленной в свою очередь с инерциальной системой, которую мы можем для наших целей отождествить с нашей землей; тогда импульс, сообщаемый проходящими частицами, не будет приводить в движение диафрагму. Для того чтобы получить возможность измерения этого импульса, Бор предложил соединить диафрагму с рамой упругими пружинами; тогда частицы, проходящие сквозь экран, будут сообщать диафрагме скорость относительно рамы. Эта скорость у тела средних размеров доступна наблюдению, и, исходя из нее, можно вычислить импульс компоненты. Это дает возможность формулировать новое определение компоненты импульса по оси x проходящей частицы. Это определение не предполагает, что частицы движутся от щели к экрану согласно ньютоновским законам движения.

Теперь мы можем сформулировать соотношение неопределенностей таким образом, что оно совсем не будет относиться к вспышкам на экране, а только к положению и импульсу частицы, проходящей сквозь диафрагму. Если мы жестко закрепим диафрагму с рамой и оставим открытой только одну щель, то из вспышек на экране сможем найти точное положение щели относительно рамы. Если у нас будет две щели, то из диффракционной картины мы сможем найти положение частицы при прохождении через щели, включая неопределенность a . Если, однако, мы закрепим диафрагму на инерциальной раме не жестко, а посредством упругой пружины, то при прохождении ее частицы будут сообщать диафрагме импульс. Тогда

мы сможем измерить импульс диафрагмы посредством удлинения или укорачивания пружины и, исходя из ньютоновских законов, сможем вычислить импульс частицы в x -направлении. Если мы в добавление к импульсу знаем положение щелей (относительно рамы), когда частица проходит через них, то мы будем знать для некоторого момента времени положение и импульс частицы и сможем, исходя из ньютоновских законов, вычислить путь каждой частицы до производимой ею вспышки на экране. Наблюдая за очень большим количеством частиц, мы в конце концов могли бы получить диффракционную картину, проследивая ньютоновские траектории всех частиц.

Мы смогли бы тогда получить диффракционную картину двумя способами. Во-первых, мы могли бы использовать, как мы и делали вначале, интерференцию волн, проходящих через щели; или, во-вторых, могли бы использовать траектории частиц. Тогда мы могли бы найти путь частицы, которая производит вспышку на экране, и щель, через которую эта частица проходит. Бор показал, однако, что это иллюзия и что экспериментальное устройство, позволяющее нам измерить импульсы частиц при прохождении сквозь экран, делает невозможным измерение положения щели относительно инерциальной рамы. Это легко видеть, если мы будем иметь в виду, что два сталкивающихся тела (диафрагма и частица) не представляют собою тел обычного размера, подчиняющихся ньютоновским законам. Они представляют «атомный объект», как и сама частица, и подчиняются «соотношению неопределенностей». Из этого соотношения следует, что точное положение (относительно рамы) не может быть приписано такому «атомному объекту», если импульс не является полностью неопределенным. Если мы определим импульс с конечной неопределенностью Δp_x , то неопределенность Δx положения будет $\Delta x = h/\Delta p_x$; но если положение диафрагмы и, следовательно, щели относительно рамы неопределенно, то вспышки на экране больше не будут создавать простой диффракционной картины, которую мы находим в случае диафрагмы, жестко прикрепленной к раме.

Схема полос расплывается. Это значит, что если мы в состоянии наблюдать диффракционную картину, то мы можем измерить положения частиц при прохождении сквозь экран, но мы не можем измерить импульсы. Если, однако, мы можем измерить импульсы частиц при прохождении их сквозь диафрагму, то мы не сможем наблюдать диффракционную картину.

2. Принцип дополнительности Бора

Это положение было сформулировано и обобщено Нильсом Бором в его знаменитом «принципе дополнительности». Если «атомные объекты» испускаются источником P , проходят через щели диафрагмы и производят вспышки на экране, то мы не сможем описать это явление путем указания, какой закон управляет движением каждой индивидуальной частицы по пути от точки P к экрану. Всякое описание такого пути потребовало бы, чтобы в каждый момент времени могло быть численно дано положение и импульс частицы. Когда говорят об «описании явления», то имеют в виду, что описывается источник, диафрагма с ее щелями и вспышки на экране. Эти описания не содержат никаких терминов или выражений, кроме тех, которые употребляются в языке нашей повседневной жизни.

Из замечаний в § 1 мы узнали, что мы не можем описать эти явления посредством введения траекторий частиц, каждая из которых проходила бы через какую-то индивидуальную щель. Однако развитие нашего языка с детства и растущее знакомство с элементарной физикой и математикой принуждает нас вводить выражения «положение» и «скорость» (или «импульс») частицы в язык, который мы употребляем для описания этих явлений. Нильс Бор показал, как термины «положение частицы» и «импульс частицы» могут быть введены с ограничениями, поскольку уже известное их употребление, по-видимому, неосуществимо. Когда диафрагма жестко соединена с рамой, положение частицы, проходящей сквозь диафрагму,

определяется положением щели. Если имеется две щели, то это положение определяется с неопределенностью $\Delta x = a$. Импульс индивидуальной частицы при прохождении через щель совсем не определяется. Исходя из положения щелей, мы можем предсказать положение на экране дифракционной картины. Если частицы имеют массу m и скорость v , перпендикулярную к диафрагме, то они будут создавать светлые и темные полосы с расстоянием $D\lambda/a$ между двумя светлыми полосами (где D есть расстояние между диафрагмой и экраном). Так как импульс индивидуальной частицы, параллельной диафрагме, не может наблюдаться или быть вычислен, то мы не можем узнать, через какую щель индивидуальная частица пройдет или даже прошла.

Если, однако, диафрагма связана с рамой не жестко, а посредством упругой пружины, то импульс индивидуальной частицы может быть измерен тоже (как мы видели в § 1), но в этом случае положения диафрагмы и щели относительно рамы не могут быть определены точно. Если мы будем рассматривать столкновение атомного объекта с диафрагмой, то нам придется иметь дело с проблемой двух тел. Одно из этих тел есть «атомный объект», следовательно, система этих двух тел — тоже атомный объект. Как таковой, он подчиняется соотношению неопределенностей, согласно которому знание точного значения импульса не допускает возможности каких-либо утверждений относительно положения. Если импульс может быть определен в конкретных границах Δp_x , то положение может быть вычислено с неопределенностью $\Delta x = h/\Delta p_x$. Это значит, что измерение импульса индивидуальной частицы, как описано выше, приводит к неопределенности в положении диафрагмы. Следовательно, дифракционная картина может рассчитываться с некоторой неопределенностью. Если эта неопределенность порядка величины расстояния между двумя светлыми линиями в дифракционной картине, то эта картина полностью расплывается и практически не существует. Ниже мы докажем, что неопределенность в положении наших щелей относительно

рамы в действительности настолько велика, что диффракционная картина разрушается при попытке найти путь «атомного объекта» между источником и экраном.

Из этих положений Бор вывел чрезвычайно важные следствия относительно системы понятий, с помощью которой можно описывать движение атомных объектов. В ньютоновской механике движущаяся частица в каждый момент времени обладает положением и скоростью, каково бы ни было состояние движения окружающих тел. Но из замечаний о принципе неопределенности, приведенных в § 1, можно заключить, как говорит Бор, что мы должны предположить особое устройство тел, окружающих атомный объект, для того чтобы быть в состоянии пользоваться словами, вроде «положение» или импульс в описании вышеприведенных явлений. Если мы возьмем ситуацию эксперимента, в котором диафрагма и щели приведены посредством жесткого крепления в состояние покоя относительно рамы, то мы можем определить термин «положение частицы в определенный момент времени», но не можем вложить определенное содержание в термин «импульс частицы в определенный момент времени». Кроме того, если наше экспериментальное устройство представляет собой соединение диафрагмы с рамой посредством упругих пружин, то мы можем определить термин «импульс частицы при прохождении сквозь экран», но не можем определить «положение частицы относительно рамы».

Мы имеем два экспериментальных устройства, которые исключают друг друга. В первом случае мы можем описать наше явление, употребляя термин «положение частицы относительно рамы», тогда как во втором случае мы можем описать его с помощью термина «импульс частицы при прохождении сквозь экран». В обоих случаях под определением мы имеем в виду «операциональное определение». Описания наших явлений являются описаниями следующих типов: «Если частицы имеют определенное положение при прохождении сквозь диафрагму, то вспышки на экране будут следовать в определенной последова-

тельности (диффракционная картина)». Во втором случае описание будет следующим: «Если атомный объект имеет определенный импульс, когда он проходит через щель, то диафрагма начнет двигаться с определенным импульсом и растягивать упругую пружину, посредством которой она прикреплена к раме». Эти два экспериментальных устройства исключают друг друга. В каждом случае мы описываем прохождение атомных объектов от источника через две щели до экрана различным образом.

Бор говорит, что эти два описания «дополняют» друг друга. На этом основан его «принцип дополнительности». Для простых случаев этого типа он устанавливает: движение атомного объекта не может описываться при помощи траектории частицы, которая в каждый момент времени обладает определенным положением и скоростью. Мы можем, однако, рассмотреть «дополнительные» экспериментальные устройства, которые допускают описание с помощью или понятия положения, или импульса частиц. В первом случае мы можем сказать — правда, несколько поверхностно, — что атомный объект может рассматриваться как частица, которая обладает положением, но не обладает импульсом; во втором случае — что это частица, обладающая импульсом, но не обладающая положением.

Очень часто в популярных работах, которые время от времени пишутся учеными, законы, управляющие движением атомных объектов, формулируются в неточном виде. Некоторые авторы говорят, что, согласно современным законам движения атомных частиц, положение и скорость частицы не могут быть измерены в один и тот же момент. Если мы измеряем координаты (положение), то «уничтожаем» возможность измерения импульса, и наоборот. Эта формулировка вводит в заблуждение, потому что она создает впечатление, что до измерения существовала «частица», которая обладала как «положением», так и «скоростью», и что «измерение ее положения» уничтожает возможность «измерения ее импульса». На самом же деле сам атомный объект не может быть описан в терминах

«положение» или «скорость». Ясно, что нельзя «уничтожить» то, чего не «существует». Только в том случае, если бы атомный объект находился в определенном экспериментальном устройстве, при помощи которого «положение» или «импульс» могли бы быть определены; но не существует такого устройства, которое позволило бы измерить и то и другое.

3. «Положение и импульс частицы» не имеют операционального значения

Из принципа дополненности Бора вытекает, что некоторые экспериментальные устройства позволяют нам определять «положение», а другие — определять «количество движения» атомного объекта. Эти определения суть операциональные определения; мы можем описать специальные физические операции, посредством которых координатам или компонентам скорости такого объекта могут быть приписаны конкретные значения. Если мы знаем «положение» объекта в указанном смысле, то мы можем вывести заключения о действии, производимом этим объектом в окружающей его среде, например вспышки на экране или наблюдаемое движение диафрагмы. Только в случае использования такого определения можно назвать его операциональным определением. Это значит, что должны существовать физические законы, в которых «операционально определенное» понятие действительно имеет место.

Можно, конечно, допустить, чтобы в формулировке физического закона уже встречалось «операциональное определение», и не требовать, чтобы оно входило в формулировку самого физического закона. Если мы так сделаем, то, конечно, сможем «определить» термины «положение» и «скорость» атомного объекта посредством действительных физических операций, которые до некоторой степени аналогичны тем операциям, посредством которых эти термины определяются в физике Ньютона. Мы могли бы, например, взять атомную частицу (например, электрон), проходящую

сквозь две параллельные диафрагмы в направлении, перпендикулярном к обеим. В каждой диафрагме имеется одна щель, через которую эта частица проходит. Расстояние между щелями — D ; время, в которое частица проходит это расстояние, — T . Следовательно, скорость, с какой объект проходит сквозь щель второй диафрагмы, может быть определена соотношением $v = D/T$. Это определение кажется естественным, потому что оно есть одно из возможных определений скорости в ньютоновской механике; но в то время как в этой «классической теории» знание положения и скорости для определенного момента времени позволяет нам вычислить будущее движение, это не будет иметь места в случае, если мы употребим только что данное определение скорости $v = D/T$. Мы хорошо знаем, что, согласно теории де Бройля, частица, которая только что прошла через щель, не будет продолжать движение в том же самом направлении, но будет отклоняться согласно закону дифракции. Следовательно, положение и скорость (таким образом определенные) не определяют направления будущего движения. Эта «скорость» не входит ни в какой закон физики. Это не операциональное определение, как мы охарактеризовали его ранее; это определение скорости не помогает при формулировании законов атомной физики.

Можно, конечно, представить себе большое разнообразие способов определения «скорости», если бы не выдвигалось требование, чтобы эта скорость входила в законы физики. Из анализа предыдущего примера можно сделать более общий вывод, что не существует закона физики, в котором имеет место термин «положение и скорость атомного объекта», тогда как в законах ньютоновской физики имеет смысл термин «положение и скорость материальной частицы средней величины». Мы можем также просто сказать, что термин «положение и скорость наблюдаемого тела» имеет операциональное значение, но что «положение и скорость атомного объекта» операционального значения не имеют. Эта формулировка является гораздо более общей и полезной, чем распространенное утвер-

ждение, что положение и скорость атомного объекта никогда не могут быть измерены одновременно. Если мы измеряем «положение», то теряем возможность измерения скорости этой частицы. Эта формулировка, приписывающая измерению «разрушительное действие», двусмысленна по той простой причине, что она ведет к ложному пониманию, что «существует» частица, которая «обладает положением и скоростью» и которая как-то изменяется благодаря процессу измерения. Согласно формулировке Бора, движение атомного объекта не может быть правильно описано с помощью понятия траектории частицы и не существует законов в отношении движений таких малых объектов и которые содержали бы термин «положение и скорость частицы». Мы всегда должны иметь в виду, что произвольные операциональные определения не могут создавать понятия, полезные для физики. Всякий большой успех состоит в создании каких-то операциональных определений, которые позволяют нам формулировать законы физики более правильно и практически более полезно, чем это делали предыдущие определения.

Теперь на простом примере, приведенном Нильсом Бором, покажем, как попытки проследить траекторию частицы от источника до единичной точки вспышки на экране ведут к экспериментальной ситуации, в которой картина вспышек исчезает. Может быть, самым ярким доказательством нашей неспособности приписать траекторию атомному объекту является наша неспособность установить, через какую щель проходит частица на своем пути от источника к экрану. Допустим, что источник находится в точке P ; частицы могут расходиться от него и проходить через две щели S_1 и S_2 в диафрагме перед тем, как дать вспышки на экране. Расстояния от источника до диафрагмы и от диафрагмы до экрана могут быть оба D . Малый угол между направлениями от источника P к двум щелям может быть равен ω . Мы знаем, что картина вспышек на экране ничего не может сказать нам о том, через какую щель прошла частица, которая произвела вспышку

в определенной точке P' . Однако можно, по-видимому, представить себе такое экспериментальное устройство, с помощью которого стало бы возможным установить, через какую щель прошла определенная частица. Если мы снова сделаем так, что диафрагма с двумя щелями S_1 и S_2 будет связана с рамой посредством упругой пружины, то прохождение частиц через эти щели будет сообщать импульс диафрагме. Направление импульса будет различным в зависимости от того, будет ли частица проходить через S_1 или через S_2 .

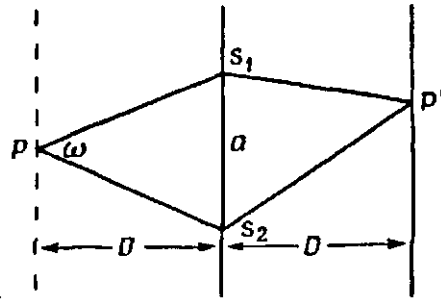


Рис. 36.

Если направленный по перпендикуляру к диафрагме импульс будет опять p , то разница между импульсами по направлению оси x будет ωp , если мы сравним результаты прохождений через S_1 и S_2 (рис. 36).

Мы можем определить щель, через которую проходит частица, если мы можем измерить разницу импульсов, величина которой порядка $\omega p = h\omega/\lambda$. Поскольку, как видно на рисунке, $D\omega = a$, то $\omega p = ha/D\lambda = \Delta p_x$. Благодаря взаимодействию между частицей и диафрагмой этот импульс может быть сообщен диафрагме. Мы знаем, что система двух тел, состоящая из диафрагмы и атомного объекта (частицы), сама есть атомный объект. Если «неопределенность» ее импульса меньше или равна $ha/D\lambda$ относительно рамы, то в координатах диафрагмы должна быть неопределенность Δx относительно рамы. Так как по «соотношению неопределенностей» $\Delta p_x \cdot \Delta x = h$, то Δx должно быть больше или равно $h/\Delta p_x$, или, в лучшем случае, $\Delta x = h/\Delta p_x$, или $\Delta x = D\lambda/a$; но, как мы узнали в гл. 8, § 4, это и есть как раз расстояние между двумя светлыми полосами дифракционной картины на экране. Если величина неопределенности положения этих полос относительно инерциальной

системы отсчета того же порядка, как и расстояние между двумя полосами, то картина полос расплывается. Отсюда следует, что экспериментальное устройство, которое позволяет нам обнаружить, через какую щель проходит частица, является таковым, в котором нет резкой дифракционной картины. Поэтому при помощи его нельзя проследить движение частицы от источника через щель до точки вспышки на экране.

4. Факты, слова и атомы

Как и в каждой области физической науки и, вероятно, любой другой науки, мы сталкиваемся с двумя уровнями знания: уровень чувственного наблюдения и уровень описания с помощью понятийной или, скорее, словесной схемы. С эволюцией науки расхождение между этими двумя уровнями непрерывно увеличивалось и стало весьма заметным в области атомных объектов, таких, как электроны, ядра и т. п. Многочисленность путаных изложений в этой области следует объяснить тем, что авторы не уделяли достаточного внимания ясному различению и хорошему определению взаимосответствия между этими двумя уровнями. Мы должны исходить из того, что все наблюдаемые явления атомной и ядерной физики могут быть описаны на повседневном языке. Они принадлежат к области тел средней величины и могут, следовательно, быть описаны языком ньютоновской (классической) физики. Из этого мы, конечно, не можем заключить, что такие явления выводимы из законов ньютоновской физики, или, другими словами, могут быть «объяснены» с помощью ньютоновской физики. Нильс Бор сказал:

«Как бы далеко явления ни выходили за рамки классического физического объяснения, всякое рассмотрение их должно осуществляться с помощью классических понятий. Доказывается это тем, что словом «эксперимент» мы просто обозначаем ситуацию, которая позволяет нам что-то сказать о том, что мы сделали и что мы узнали, и, следовательно, отчет об

экспериментальном устройстве и о результатах наблюдений при помощи его должен быть выражен недвусмысленным языком и с соответствующим применением терминологии классической физики».

В нашем примере, который мы приводили выше, «экспериментальное устройство» состояло из источника атомных объектов, диафрагмы со щелями и экрана. «Результатами» были картины светлых и темных полос или точечные вспышки на экране. Проблема, с которой должна иметь дело физическая наука, есть проблема создания системы принципов, из которых могут быть выведены положения, с помощью которых мы можем предсказывать или вычислять «результаты», если знаем «экспериментальное устройство». Как мы сказали выше, цитируя Нильса Бора, явления выходят за рамки классического объяснения. Исходное устройство и результаты могут быть описаны языком классической физики, потому что нам приходится иметь дело с известными механическими и оптическими объектами, вроде тел обычной величины, светлых полос и точечных вспышек на экране и т. п. Однако принципы, с помощью которых мы можем вывести связь между исходными устройствами и результатами, не являются, как мы теперь знаем, принципами, содержащими понятия, известные из ньютоновской физики; они не могут быть выражены посредством понятий траекторий частиц, распространения волн в среде или каких-либо подобных понятий.

Мы можем называть такое описание при помощи понятий классической физики «картиной». Бор сказал:

«Показания, полученные при разных экспериментальных условиях, не могут быть поняты в рамках одной картины, но должны рассматриваться как *дополнительные* в том смысле, что только вся совокупность явлений исчерпывает возможную информацию об объекте».

«Одна картина» давалась бы, например, описанием всех явлений в терминах траекторий, проходимых частицами. Такая «картина» не существует, но

при помощи каждого экспериментального устройства мы можем исследовать явления, имеющие место при этих условиях. «Объекты» не могут описываться как частицы и их траектории, но могут характеризоваться посредством описания всех явлений, которые происходят при разных экспериментальных условиях.

«При этих обстоятельствах, — продолжает Бор, — приписывание атомным объектам условных физических атрибутов вводит существенный элемент двусмысленности».

Если вам надо описать образование вспышек на экране, используя понятие о частицах с определенными положениями и скоростями по траекториям, вы приписываете атомному объекту «условные физические атрибуты». Согласно Бору, однако, этого нельзя сделать. Если я хочу приписать объектам положение, то должен воспользоваться устройством, которое отличается и даже не сравнимо с устройством, позволяющим мне приписывать объектам импульс.

Важно, однако, понять, что «приписывать условные атрибуты» даже частично или «дополнительно» отнюдь не обязательно, если мы заинтересованы только в предсказании наблюдаемых результатов эксперимента. Чтобы понять, как физики, действительно проводящие исследования в области атомной и ядерной физики, поступают при предсказании или получении наблюдаемых результатов, необходимо проанализировать использованный выше в этой главе пример с картиной вспышек, производимых атомными объектами после прохождения через щели в диафрагме. Если мы заинтересованы только в наблюдаемых результатах, то есть в расположении вспышек на экране или в движении диафрагмы относительно инерциальной системы отсчета, то достаточно вернуться к волновой теории де Бройля.

Мы изложим здесь эту теорию в весьма элементарной форме, что, конечно, является большим упрощением, но такое изложение делает ее понятной для читателей, не очень сведущих в математической физике. Нельзя забывать, что очень большое число сту-

дентов-физиков и почти все студенты-химики относятся к этой группе.

Если поток атомных объектов (например, электронов) падает на диафрагму, в которой имеется две щели, то мы должны ввести в рассмотрение волны де Бройля, которые проходят через две щели способом, сходным с тем, каким проходят через щели световые волны. Волны, прошедшие через эти щели (расположенные на расстоянии a), интерферируют друг с другом, что приводит к образованию максимумов и минимумов амплитуд волн. В то время как в обычной оптике интенсивность света определяется квадратом амплитуды, в атомной физике этот квадрат амплитуды имеет операциональное значение, связывающее его с числом точечных вспышек на некотором покрытом окисью цинка экране, помещаемом на пути волн. Квадрат амплитуды пропорционален числу точечных вспышек на единице площади экрана, находящегося на определенном расстоянии от диафрагмы, или, иными словами, пропорционален вероятности, что вспышка произойдет в определенном месте экрана. Понятнейшая картина волн, например для данного экспериментального устройства с двумя щелями в диафрагме, называется математической формулировкой волновой механики. В этой формулировке амплитуда волны однозначно определяется, если задано начальное экспериментальное устройство.

Однако в силу такого операционального значения волны мы знаем лишь то, сколько вспышек появится в среднем в единицу времени в определенной области экрана, но никогда не сможем предсказать, в каком точно месте и в какой именно момент произойдет отдельная вспышка. Поэтому мы должны сказать, что не существует причинного закона, который позволил бы нам вычислить на основе исходного устройства точное место какой-либо отдельной вспышки на экране. Мы можем вычислить точное значение амплитуды волны в каждой точке, но эта амплитуда недоступна наблюдению; она связана с явлением только посредством операционального определения как величина, квадрат которой пропор-

ционален вероятности наличия частицы в определенной области. Ради точности мы не должны были бы говорить о «наличии частицы в определенной области», потому что никакой частицы в ней нет. Мы должны были бы говорить о вероятности, что в какой-то области экрана возникают вспышки, или о частоте вспышек в этой области. Таким образом, математическая формулировка, включающая в себя операциональное определение символов этой формулировки, дает нам правила, которые связывают начальные устройства с «наблюдаемыми результатами». В этом примере мы исходили из допущения, что диафрагма с щелями жестко скреплена с некоторой инерциальной системой. Если бы она была соединена с ней посредством упругой пружины, то дифракционная картина с правильными максимумами и минимумами в вероятности вспышек не наблюдалась бы; вместо нее мы могли бы наблюдать движения диафрагмы относительно системы отсчета (рамы) и вычислить вероятность определенного импульса, если бы знали амплитуду волны де Бройля.

В рассматриваемых выше примерах нам приходилось иметь дело только с наблюдаемыми явлениями того же типа, как и явления, которые мы наблюдаем в повседневной жизни, вроде вспышек на экране, или импульсов тел обычной величины (например, диафрагмы). Эти наблюдения приводятся в соответствие друг с другом посредством математической теории волн де Бройля и операциональных определений. Для того чтобы было ясно, что в этом изложении мы не пользуемся «условными физическими атрибутами», как называет их Бор, мы дадим формулировку, в которой не употребляются никакие выражения, напоминающие об этих условных атрибутах. Мы можем сказать: если «атомный объект» проходит от источника сквозь диафрагму к экрану, то пространство между источником и экраном находится в определенном состоянии, которое при определенных условиях вызывает события, локализующиеся в очень небольшой области вокруг геометрической точки, вроде вспышек на экране (точечные явления), или — при других обстоятель-

ствах — события, имеющие определенное направление, вроде импульсов, сообщаемых диафрагме (импульсные явления). Оба типа событий математически предсказываются, но не индивидуально, а лишь статистически; математически предсказывается количество точечных или импульсных событий, которые происходят в среднем в определенной области пространства.

Важно всегда помнить, что такое представление соответствует целям физика, занимающегося исследованиями в области атомной теории или в области ее технических применений. Мы можем назвать такого рода представление, следуя Рейхенбаху, «неполной интерпретацией» атомной физики. Мы воздерживаемся от вопросов, которые кажутся очень естественными и навязываются некоторым «словесным принуждением», если воспользоваться выражением П. У. Бриджмена. Если на экране появляется точечно-образная вспышка, то возникает большой соблазн сказать, что в этой точке на экран упала частица, и спросить, идя по какому пути эта частица достигла экрана. Точно так же, если диафрагма находится в движении, мы испытываем соблазн сказать, что она получила толчок от движущейся частицы, которая сообщила диафрагме какой-то импульс. Если мы будем пытаться найти пути частиц, вызывающих вспышку, то в связи с этим встанут проблемы, не относящиеся к этому явлению. Мы задаем вопросы, которые не ставятся перед нами задачей улучшения наших предсказаний наблюдаемых явлений или улучшения нашей техники в разработке полезных приспособлений. Если мы ищем «пути несуществующих частиц» — говоря не вполне серьезно, — то мы на самом деле пытаемся описать явления атомной физики на языке, наиболее близком к языку, на котором мы описываем опыты нашей повседневной жизни, или, другими словами, ищем теорию, которая как можно меньше отличалась бы от объяснения на основе здравого смысла.

5. Явления и промежуточные явления

Те, кого не удовлетворяет предсказание экспериментальных результатов с помощью математического аппарата, пытались интерполировать ненаблюдаемые цепи событий такого типа, который был известен нам из традиционных объяснений оптических явлений, происходящих между исходными устройствами и наблюдаемыми результатами. Такие события являются главным образом движением частиц и распространением волн в среде. Рейхенбах ввел для этих ненаблюдаемых цепей событий названия «промежуточных явлений» в противоположность наблюдаемым явлениям, экспериментальным устройствам и наблюдаемым результатам.

Утверждения об этих «промежуточных явлениях», конечно, не без двусмысленности, определяются описанием эксперимента: исходных устройств и начальных результатов. Можно считать поэтому правдоподобным, что мы можем интерполировать несколько цепей «промежуточных явлений», не изменяя ничего в экспериментальном устройстве и в наблюдаемых результатах. Кроме того, нельзя интерполировать на все эксперименты с атомными объектами один и тот же тип промежуточных явлений. Если бы это было возможно, мы могли бы объяснить все явления атомной и ядерной физики с помощью традиционных законов оптики и механики. Но мы знаем, что это не так и что существует необходимость в законах, коренным образом отличающихся от ньютоновских классических законов. Поэтому, по-видимому, можно интерполировать промежуточные явления для каждого конкретного эксперимента в атомной физике, но не может существовать такой системы промежуточных явлений, какую можно использовать для всех возможных экспериментов.

Чтобы легче понять ту роль, которую играют промежуточные явления, продемонстрируем ее на простом примере, взятом у Рейхенбаха. Как и в предыдущих параграфах, рассмотрим прохождение атомных объектов через щель в диафрагме и наблюдаемые ре-

зультаты в этом экспериментальном устройстве. Мы здесь рассматриваем диффракцию от одной щели, имеющей ширину b . Первый и второй максимумы в числе вспышек появляются под углами $\varphi = 0$ (центр) и $\varphi = \lambda/b = h/mvb$. Единственным наблюдаемым явлением служит распределение вспышек на экране; согласно Рейхенбаху, мы можем интерполировать промежуточное явление, соответствующее интерпретации с точки зрения корпускулярной теории. Мы можем предположить, что частицы проходят через щель и отклоняются согласно вероятностному закону, который определяет распределение, имеющее максимумы при $\varphi = 0$, $\varphi = h/mvb$, $\varphi = 2h/mvb$ и т. д. Это закон, относящийся к движению реальных частиц, хотя он и очень сильно отличается от традиционных законов. В каждый момент времени частицы имеют определенное положение и скорость, как в ньютоновской механике.

«Промежуточные явления» могут быть описаны отдельно, без связи с экспериментальными устройствами, частью которых они являются. Рейхенбах называет такую интерполяцию промежуточных явлений «нормальной» системой. Согласно ему, представленная выше интерпретация с точки зрения корпускулярной теории является описанием при помощи «нормальной» системы промежуточных явлений, потому что она представляет собой описание объективных событий, или, как говорит Рейхенбах, законы этих промежуточных явлений одни и те же независимо от того, наблюдаются эти объекты или нет. На языке данной книги мы скорее сказали бы, что законы этих промежуточных явлений (движущихся частиц) могут формулироваться без знания всего экспериментального устройства; у нас нет необходимости, например, знать, является ли диафрагма закрепленной или подвижной относительно инерциальной системы. Рейхенбах подчеркивает также то, что законы промежуточных явлений находятся в согласии с законами, которым подчиняются явления атомной физики. Закон, согласно которому частицы отклоняются, представляет собой статистический закон; закон, согласно ко-

торому наблюдаемый источник электронов производит вспышки на экране, есть тоже статистический закон, но это закон явлений. Поэтому можно рассматривать интерпретацию с точки зрения корпускулярной теории как закономерную цепь промежуточных явлений.

Если же мы введем интерпретацию с точки зрения волновой теории, то будем иметь волны, проходящие через щель. Если мы захотим получить появление единичной вспышки, то мы должны проследить движение волн от щели до экрана согласно законам интерференции. Мы получим максимумы амплитуды при $\varphi = 0$ и $\varphi = h/mvb$. Однако для получения формулы для вспышки в определенной точке экрана мы должны допустить, что волны поглощаются экраном именно в этой точке и не могут распространяться дальше. Здесь мы опять имеем «объективную» цепь событий, «реальные» волны; но это «поглощение» волн никогда не происходит в области наблюдаемых явлений. Следовательно, согласно Рейхенбаху, эта интерпретация с точки зрения волновой теории не является законной интерполяцией промежуточных явлений.

Если мы имеем две щели на расстоянии a друг от друга и снова сделаем попытку рассмотреть интерпретацию с точки зрения корпускулярной теории, то необходимо ввести закон движения, по которому частицы отклоняются в согласии со статистическим законом, то есть большинство частиц отклоняется под углом $\varphi = 0$ и $\varphi = h/mav$. Это означало бы, что частица, проходящая через щель S_1 , отклонялась бы под углом φ , который зависит от расстояния между щелью S_1 и щелью S_2 , то есть допускалось бы действие на расстоянии. Это был бы закон движения частиц, который имел бы силу и для промежуточных частиц, но отличался бы от всех законов, справедливых в области известных нам явлений. Поэтому Рейхенбах отвергает «корпускулярную интерпретацию» в этом случае потому, что она не является «нормальной системой». Волновая интерпретация имеет тот же недостаток, что и в случае единичной щели; она предполагала бы поглощение сферической волны небольшой

областью экрана. Рейхенбах предлагает поэтому измененную интерпретацию с точки зрения волновой теории, в которой волны не являются сферическими, а движутся по каналам, начинающимся в S_1 и S_2 , и сходятся в точке вспышки. Таким образом, Рейхенбах считает в случае одной щели более приемлемой интерпретацию с точки зрения корпускулярной теории, а в случае двух щелей — интерпретацию с точки зрения волновой теории нормальными системами и поэтому предпочтительными системами промежуточных явлений для интерполяции происходящего между явлениями. Мы видим, что для каждого отдельного эксперимента можно вводить нормальную систему промежуточных явлений, но нельзя найти такую систему, которая была бы справедливой для любого эксперимента.

Представление, которое предлагается Бором, не нуждается во введении каких-либо промежуточных явлений. Не вводятся ни «реальные» частицы, ни «реальные» волны, состояние которых могло бы быть описано независимо от окружающего экспериментального устройства.

При рассмотрении промежуточных явлений, по-видимому, полезно подчеркнуть два пункта, которые часто неправильно истолковывались и понимались. Они играли большую роль в «философских следствиях», вытекавших из атомной физики, которые более подробно будут обсуждены в гл. 10. Здесь же мы изложили их под чисто научным углом зрения, в тесной связи с нашим изложением, даваемым в предыдущих параграфах. Часто указывалось, что, в то время как в традиционной физике старая корпускулярная картина оптических явлений была решительно заменена волновой картиной, современная физика пользуется в одних случаях корпускулярной картиной, а в других — волновой. Некоторые авторы давали даже формулировку, по которой один и тот же объект атомной физики может рассматриваться то как частица, то как волна в зависимости от конкретного эксперимента. Другие авторы утверждали, что этот объект представляет собой род гибрида, имеющего два

аспекта, а некоторые даже давали ему составное название, вроде «волна-частица». Мы видели, что на самом деле все эти формулировки двусмысленны. Интерпретация с точки зрения волновой теории и интерпретация с точки зрения корпускулярной теории представляют два типа промежуточных явлений, интерполируемые между наблюдаемыми явлениями атомной физики. Как мы узнали из примеров, рассмотренных Рейхенбахом, обе интерпретации могут использоваться в одном и том же случае, но, если следовать требованию, чтобы интерполируемая цепь была «нормальной системой», необходимо одну из них рассматривать как более предпочтительную. Это требование фактически не обеспечивает однозначного критерия; промежуточные явления никогда не подчиняются всем тем законам, которые справедливы для явлений. Мы всегда должны вводить особые новые законы, и дело вкуса говорить, что та или иная интерполированная система промежуточных явлений согласуется с законами, которые действуют в отношении явлений.

Альфред Ланде в своей книге говорит, что всякий эксперимент может быть объяснен посредством и корпускулярной и волновой картин. Рейхенбах в общем согласен с этим взглядом, но выдвигает определенные критерии, согласно которым в каждом отдельном случае одна из картин будет более предпочтительной. Он пишет:

«В имеющийся мир явлений мы можем ввести мир промежуточных явлений разными способами; тогда мы получим класс эквивалентных описаний промежуточных явлений, каждое из которых одинаково истинно, а все принадлежат к одному и тому же миру явлений. Другими словами, если дан класс эквивалентных описаний мира, то промежуточные явления разные, тогда как явления будут инварианты класса».

Если мы, вместе с Рейхенбахом, введем понятие нормальной системы, то каждый класс эквивалентных промежуточных явлений будет представлен в описании мира членом, являющимся некоторой нормальной системой. Интерпретации с точки зрения

волновой и корпускулярной теорий как раз и представляют собой примеры таких систем промежуточных явлений и оказываются столь же произвольными и определенными, какими такие системы бывают вообще.

Другой момент, который вводит иногда в заблуждение философов и других людей, не являющихся специалистами в теоретической физике, заключается в неудачных попытках провести различие между волновой интерпретацией, даваемой с помощью обычных трехмерных волн, и волнами де Бройля как математической схемой. Эта последняя охватывает математические формулы, которые пригодны для вычисления таких наблюдаемых результатов, как вспышки, исходя из наблюдаемого экспериментального устройства. Они не имеют никакого отношения к «промежуточным явлениям». Они определяют расположение вспышек согласно «операциональному значению» амплитуды и не требуют от нас использования таких физических законов, как поглощение волны на экране одной точкой. Все наблюдаемые факты атомной физики могут быть получены с помощью математических формул для волн де Бройля, но из этого мы не можем заключить, как делают некоторые авторы, что «волновая картина» является более соответствующей атомной физике, чем картина корпускулярная.

6. Разнообразие формулировок в атомной физике

Если мы интересуемся атомной физикой только как системой принципов, из которых могут быть выведены наблюдаемые результаты, то мы можем полностью игнорировать «промежуточные явления». Тогда мы должны иметь дело только с наблюдаемыми фактами, математической формулировкой атомной физики и операциональными определениями. Они образуют определенную систему принципов. Как упоминалось выше, Рейхенбах называет такую систему «ограничительной интерпретацией» атомной физики, потому что она ограничивается минимумом теории, не-

обходимым для ученого в его действительных исследованиях. Представление, данное в § 2 в соответствии с принципом дополнительности Бора, является такой «ограничительной интерпретацией». Если мы описываем эксперимент, используя волновые картины или корпускулярные картины, то вводим промежуточные явления и достигаем того, что Рейхенбах называет «исчерпывающей интерпретацией» атомной физики. Мы дали в § 5 примеры исчерпывающих интерпретаций и показали, что для каждого эксперимента имеется очень много, возможно даже бесконечно много, исчерпывающих интерпретаций.

Некоторые авторы заняли крайнюю точку зрения, и полагают, что «исчерпывающие интерпретации» «бессмысленны», потому что они содержат утверждения о промежуточных явлениях, которые недоступны наблюдению. Но следует иметь в виду, как мы показали в гл. 3 («Геометрия»), что никакое единичное утверждение не может быть подтверждено наблюдением; такое подтверждение может быть дано только системе в целом. В нашем случае опытом проверяется именно система, состоящая из утверждений о явлениях и промежуточных явлениях с относящимися сюда операциональными определениями. Мы можем пользоваться разными группами промежуточных явлений, разными исчерпывающими интерпретациями и тем не менее объяснять одни и те же наблюдаемые факты. Мы свободны выбирать промежуточные явления, позволяющие нам получить систему принципов, насколько возможно близких к мышлению и речи нашего обыденного здравого смысла.

Кроме того, нельзя провести резкую линию между явлениями и промежуточными явлениями. Если мы возьмем, например, траектории «частиц» в камере Вильсона, то действительно ли будем мы там наблюдать траектории? Строго говоря, мы увидим несколько темных прерывистых линий; но Рейхенбах высказал мнение, что мы могли бы с одинаковым успехом сказать, что мы видим столкновения электронов с ионами или что мы видим линии водяных капель. Он говорил:

«Логическая разница между физикой явлений и физикой промежуточных явлений (включая корпускулярную и волновую интерпретации) есть, следовательно, дело степени... Какую из этих систем мы предпочитаем — это вопрос личной склонности; ни об одной из них нельзя сказать, что она полностью ограничивается данными наблюдения».

Конечно, верно, что исчерпывающие интерпретации произвольны, потому что в каждом отдельном случае имеется несколько различных приемлемых интерпретаций; но, с другой стороны, было бы неправильно говорить, что исчерпывающие интерпретации, то есть волновая и корпускулярная картины, ничего не говорят об объективном физическом мире. Мы могли бы представить себе мир, в котором было бы невозможно между явлениями ввести системы корпускулярной или системы волнового типа. Рейхенбах говорит: «Природа позволяет нам конструировать, по крайней мере частично, мир промежуточных явлений в согласии с законами явлений».

В предыдущих параграфах мы показали, что выражение «положение и количество движения частицы в определенный момент времени» не встречается ни в одном законе, касающемся атомных явлений, или, другими словами выражение «одновременное положение и импульс частицы» не имеет операционального значения. Эти утверждения относятся к «ограничительной интерпретации» атомной физики, поскольку они не имеют отношения к промежуточным явлениям. Однако было несколько авторов, которые формулировали эти утверждения таким образом, что они выглядят как утверждения о промежуточных явлениях, в частности, как утверждения о движущихся частицах. Эти формулировки говорят о движущихся атомных объектах и о том, что до того, пока они не будут наблюдаться человеком, нельзя знать с достоверностью, имеют ли они положение или обладают импульсом. Если, однако, «наблюдатель» попытается измерить положение (координаты) атомного объекта, то посредством своего измерительного инструмента он так вмешивается в движение атомного объекта, что

делает невозможным измерение его импульса, и *наоборот*. Если «наблюдатель» попытается измерить импульс, то это оказывает на объект такое влияние, что измерение его положения становится невозможным. Если мы будем употреблять слова в их обычном смысле, то такое утверждение должно быть названо «бессмысленным». Поскольку предположение, что атомный объект ведет себя как «реальная частица», несовместимо с наблюдаемыми фактами атомной физики, постольку объект не обладает ни положением, ни импульсом; их нельзя измерить, потому что они не существуют. По той же самой причине нельзя уничтожить возможность их измерения, потому что она никогда не существовала. Согласно принципу дополнительности Бора, «атомный объект» сам по себе не обладает ни положением, ни импульсом. Эти слова обозначают не свойства электрона, а свойства экспериментального устройства в целом. В одном устройстве электрон может обладать положением, а в другом (дополнительном) — импульсом. Если мы изменим устройство, то можем изменить ту ситуацию, в которой электрон имеет положение, в другую ситуацию, в которой он имеет импульс.

Если выразить эту ситуацию словами: «наблюдением положения мы ликвидируем возможность измерения импульса», то против этого не будет возражений, если только мы имеем в виду, что «наблюдатель» вводится только как образное выражение и может быть устранен без изменения значений этих утверждений. Опасность введения такого выражения заключается только в том, что оно может привести нас к забвению, что, говоря словами Бора, никакие условные физические свойства (вроде положения и импульса) не могут быть приписаны атомному объекту. В своей «Варшавской лекции» в 1938 году Нильс Бор, по его собственным словам:

«...предостерегал особенно против фраз, часто встречающихся в физической литературе, таких, как «разрушение явления наблюдением» или «создание физических атрибутов атомных объектов измерениями». Такие фразы... могут быть причиной пута-

ницы, так как употребление слов, вроде «явление» и «наблюдение», как и «атрибуты» и «измерения», едва ли совместимо с обычными языковыми и практическими определениями»¹.

В предыдущих параграфах мы показали, что начальные условия эксперимента в атомной физике не позволяют нам предсказывать наблюдаемые результаты с такой же точностью, как в традиционной физике. Если мы наблюдаем атомный объект, проходящий через щель в диафрагме, то мы не сможем предсказать, в каком именно месте экрана произойдет вспышка. С другой стороны, если мы учтем начальное состояние волны де Бройля, то сможем точно вычислить конечное состояние этой волны. Это значит, что предсказываемость и причинность играют в атомной физике роль, несколько отличную от их роли в ньютоновской физике. Этот вопрос мы разберем более подробно в гл. 11 и 12 (о причинности).

¹ «New Theories of Physics», New York, 1938.

Глава 10
**МЕТАФИЗИЧЕСКИЕ ИСТОЛКОВАНИЯ
АТОМНОГО МИРА**

1. «Духовный элемент» в атомной физике

Хотя с чисто научной точки зрения новые теории, используемые в субатомной физике — теория квант и квантовая механика, — и очень отличаются от теории относительности, все же метафизические интерпретации обеих теорий — теории относительности и квантовой теории — во многих отношениях похожи одна на другую. Утверждалось, что в физический мир вводится «психический элемент» и что «материализм» опровергнут. Однако, в то время как теория относительности интерпретировалась как подкрепляющая веру в предопределение, считалось, что квантовая теория якобы поддерживает учение о «свободе воли».

Для того чтобы ясно понять влияние квантовой теории на нашу общую картину мира, может быть лучше спросить не философов или ученых, а писателей, выразивших настроение нашего, XX века. Бернард Шоу пишет в своей пьесе «Too True to be Good»: «Вселенная Исаака Ньютона, бывшая неприступной цитаделью новой цивилизации в течение трех веков, рухнула перед критикой Эйнштейна, как стены Иерихона. Вселенная Ньютона была твердыней рационального детерминизма: звезды на своих орбитах повиновались непреложно установленным законам, а когда мы обратились... к атомам, то здесь также были об-

наружены электроны на их орбитах, повинующиеся все тем же всеобщим законам. Каждый момент времени предписывал следующий момент... Все исчислялось: все происходило потому, что должно было произойти: повеления были стерты с таблицы законов, и на их место пришла современная алгебра: уравнения математиков».

Далее Шоу описывает, как для современного человека вера в ньютоновскую физику стала своего рода заменой традиционной религии. Он говорит:

«В этом была моя вера. Здесь я нашел мою догму непогрешимости. Я, который презирал как католика с его тщетной мечтой об ответственной свободной воле, так и протестанта с его претензией на личное суждение».

Затем он описывает, как эта новая религия была расшатана атомной физикой и квантовой теорией XX века. «А теперь, — продолжает он, — что от нее осталось? Орбита электрона не подчиняется никакому закону, он выбирает себе один путь и отвергает другой... Все — каприз, исчислимый мир стал неисчислимым». Он принимает широко распространенную интерпретацию, что крушение ньютоновской, механистической науки привело к возвращению к доньютоновской организмической механике, изложенной выше в качестве механики Аристотеля и св. Фомы Аквинского. «Цель и замысел, — утверждает Шоу, — эти предлоги для всех отвратительнейших суеверий, восстали из мертвых, свергли могущественных с их престолов и возложили картонные короны на самонадеянных дураков».

Идея, что понятия организмической науки «восстали из мертвых», как эксцентрично выражается Шоу, весьма серьезно была воспринята очень многими философами. В качестве примера мы можем процитировать немецкого философа, выступающего также и по вопросам науки, Бернарда Бавинка:

«Теперь в кругах ученых-естественников наблюдается склонность достойным образом воссоздать нити, идущие от этих наук ко всем высшим ценностям

человеческой жизни, к богу и душе, свободе воли и т. д.; эти нити были одно время едва не порваны, и эта склонность не существовала в течение столетия»¹.

Бавинк утверждает, что это возрождение организмической науки возникло по «чисто научным мотивам»; он упоминает о замечательном совпадении, заключающемся в том, что в этот же период появился такой тип политического режима, который заявил о своей враждебности материализму и претендовал на то, что он основывается на организмической концепции науки. Этими новыми режимами, очевидно, является итальянский фашизм и немецкий нацизм. На самом деле материалистические или антиматериалистические интерпретации науки обычно возникают не по «чисто научным мотивам», а из стремлений поставить цели, которыми должны руководствоваться люди в своем поведении. Эти интерпретации связаны с социальными, политическими и религиозными устремлениями.

Указанная антиматериалистическая интерпретация физики XX века апеллировала к людям действия, заинтересованным в научном обосновании их политических целей. Генерал Смэтс, бывший премьер-министр Южно-Африканского Союза, начинает с замечания, что трудно ввести такие слова, как «жизнь» и «дух», в механистическую картину мира, господствовавшую со времени Ньютона. Концепция Эйнштейна и Минковского, согласно которой пространство и время существуют в законах науки не отдельно, а только в комбинации друг с другом, истолковывается Смэтсом следующим образом: «Физическим материалом вселенной поэтому является в действительности и по настоящему действие и ничто другое». Смэтс начинает со слова «действие» как специального понятия физики, где оно значит произведение энергии на время. В этом смысле оно употреблялось и как «принцип

¹ B. Bavink, *The Natural Sciences in the Third Reich*, «Unsere Welt», 1933, Vol. 25, 225.

наименьшего действия» и как «квант действия h » в квантовой теории.

Далее Смэтс употребляет слово «действие» так, как оно употребляется в повседневной жизни, где его значение довольно неопределенно и может обозначать физическое движение так же, как и развитие организма и даже умственную активность. Он продолжает:

«Когда мы говорим, что делаем активность, а не материю веществом или материалом вселенной, то этим незаметно вводится новая точка зрения. Ибо ассоциации материи отличаются от ассоциаций действия, и развенчание материи как нашей основной физической концепции вселенной должно глубоко изменить наш общий взгляд и точки зрения. Новая физика оказалась растворителем для некоторых старейших и самых окостеневших понятий традиционного человеческого опыта и довела гарргоchement (фр. сближение. — *Перев.*) и примирение между материальным и органическим или физическим порядками до пределов измеримого расстояния»¹.

Из этой метафизической интерпретации современной физики мы ясно видим, как аналогии здравого смысла, которыми пользуются в новейших теориях, оказываются решающими моментами доказательства; мы должны только учесть способ, каким употребляются слова, вроде «действие», «вещество», «материальный», «физический» и т. д. Английский физик Джемс Джинс пишет:

«В наши дни наблюдается широкое согласие, со стороны физики приближающееся почти к единомыслию, в отношении того, что поток познания направляется в сторону немеханической реальности. Вселенная начинает походить больше на великую мысль, чем на огромную машину. Дух не является больше случайным пришельцем в царство материи. Мы должны скорее приветствовать его как создателя и господина царства материи»².

¹ J. Smuts, Holism and Evolution.

² J. Jeans, The Mysterious Universe.

Все это сводится к утверждению, что атомная физика и квантовая механика XX века допускают введение в физический мир «психического», или «духовного», элемента, тогда как это было якобы невозможно, согласно ньютоновской теории физического мира. Но, конечно, это не было мнением самого Ньютона, который в свою интерпретацию инерции ввел чувствующий аппарат бога. Чтобы представить себе с большей определенностью, в какой мере атомная физика интерпретировалась как опора спиритуализма, даже в самом грубом смысле этого слова, обратимся к труду современного немецкого философа Алоиза Венцеля:

«Материальный мир, — пишет он, — в котором возможны также свободные и самопроизвольные события... этот мир не может называться мертвым. Этот мир — если уж говорить о его сущности — скорее есть мир элементарных духов; отношения между ними определяются некоторыми правилами, взятыми из царства духов. Эти правила могут быть сформулированы математически. Или, другими словами, материальный мир есть мир низших духов, взаимоотношения между которыми могут быть выражены в математической форме. Мы не знаем, каково значение этой формы, но знаем эту форму. Только сама форма, или бог, может знать, что она сама в себе значит»¹.

В этой интерпретации квантовые условия, которые определяют, например, энергетические уровни в атоме водорода, интерпретируются как формы, в которых «низшие духи» сами себя выявляют. Законы квантовой теории, которые не могут быть выражены на языке обыденного здравого смысла, интерпретируются посредством таких аналогий здравого смысла, как «поведение духов», то есть совершенно так же, как первобытные племена интерпретировали восход и заход солнца по аналогии с поведением организмов, высших по сравнению с человеческими организмами, но аналогичных им.

¹ A. W e n z e l, *Metaphysics of Contemporary Physics*.

Чтобы лучше понять использование аналогий здравого смысла для метафизических интерпретаций атомной физики, рассмотрим два примера, взятых из брошюры Бернарда Бавинка. Первый пример говорит о том, что в волновой теории материи Шредингера атом водорода описывается частным решением волнового уравнения, определенной суперпозицией волн де Бройля. Бавинк интерпретирует этот факт следующим образом:

«Материя и ее почитатели, материалисты, просто смеются над нами и говорят: «Вот один-единственный, притом простейший, атом — атом водорода. Теперь покажите мне, что вы можете сделать. Если вы сможете показать мне, как я могу понять этот атом как продукт чисто духовного процесса, я вам поверю». По-видимому, спиритуализм теперь может выполнить эту задачу»¹.

С научной точки зрения трудно понять, почему решения уравнения Шредингера являются более «духовными», чем решения дифференциальных уравнений в ньютоновской механике. Но Бавинк рассуждает путем аналогий. Решения волнового уравнения Шредингера (ψ -функции) могут быть интерпретированы с вероятностной точки зрения, вероятности, однако, — это психические явления; отсюда ψ -функция интерпретируется как психическое явление, которое происходит в человеческом разуме; атом водорода описывается посредством ψ -функций; следовательно, атом водорода есть психическое явление и представляет собой продукт духовной деятельности. Положение, говорящее против материализма, доказано.

Здесь мы опять ясно видим, что нам приходится иметь дело с интерпретацией физических теорий здравым смыслом. Волновая теория материи, как она была представлена выше, не может быть выражена на языке нашего обыденного здравого смысла. Однако в метафизической интерпретации атом водорода называется продуктом духовной силы, точно так же как

¹ B. Bavinck, Science and God.

на языке обыденного здравого смысла мы приписываем движения наших тел духовной силе и как по хорошо знакомой аналогии создание материи приписывается духовной силе бога, которая опять-таки понимается как аналогичная духовной силе человека. Мы могли бы, конечно, дать подобную же интерпретацию и ньютоновской «механистической» физике. «Тяготение» и «инерция» легко могут интерпретироваться как аналогичные духовным силам. Ясно, что следует признать, что старая и новая физика может быть интерпретирована с точки зрения признания духовных сил, но нет такого доказательства, которое показало бы, что она должна интерпретироваться именно так.

Второй приводимый Бавинком пример относится к законам, которые управляют переходами электрона вращающегося вокруг ядра атома водорода с одной орбиты на другую. Законы квантовой механики указывают нам, каковы орбиты электронов, по которым они вращаются вокруг ядра; но если вокруг ядра вращается какой-либо отдельный электрон, то нет такого закона, на основе которого можно было бы предсказать точно в каждый данный момент времени, что электрон будет делать в следующий момент — перейдет он или не перейдет на другую орбиту. Теория может только предсказать среднее число электронов, которые перейдут в следующую секунду, но она не может предсказать, когда перейдет какой-либо индивидуальный электрон. В своей вышеупомянутой работе Бавинк дает следующую интерпретацию этого положения вещей:

«Мы должны помнить, во-первых, что индивидуальный элементарный акт перехода как таковой неопределим, а остается свободным; во-вторых, что действительная сущность этой свободы, вероятно, является психическим явлением... Другими словами, «свободный» выбор элементарного акта, остающийся не определенным физикой, существует в действительности только как часть некоего всеобъемлющего «плана» или «формы», точнее «иерархии» «форм»; высшая форма всегда поглощает низшую и осущест-

вляем высший синтез... Новым является только то, что сама физика предлагает подвергнуть испытанию эту идею».

В этом случае основанный на аналогии характер этой интерпретации очевиден. Так как правила волновой механики не могут формулироваться на языке обыденного здравого смысла, автор сравнивает поведение электрона с поведением живого существа, которое «свободно» выбирать, что ему делать в следующий момент. Слово «свободно» употребляется здесь в том его неопределенном значении, в котором оно употребляется на языке обыденного здравого смысла, согласно которому мы называем действия организмов «свободными», потому что не знаем правил, благодаря которым мы могли бы предсказывать их поведение в следующий момент времени. После того как было установлено существование «свободы» в физическом мире, этот «факт» используют для того, чтобы представить дело так, будто решения людей могут быть «свободными». Человек, конечно, не может быть менее свободным, чем неодушевленный физический объект. Оправдание атомной физикой учения о «свободе воли» послужило одним из оснований того, почему торжественно и настойчиво объявлялось, что физика теперь более совместима с традиционной религией, чем это было в течение многих веков.

Необходимо, однако, помнить, что в таких утверждениях, как «успехи физики за последнее время сделали возможным введение в науку психических факторов» или «современная физика оправдывает учение о свободе воли», говорится о физике не с «научной точки зрения». На самом деле они относятся к метафизическим интерпретациям новых физических теорий. Чтобы придать этим утверждениям конкретный смысл, мы сказали бы, что современная физика предоставляет возможность для метафизического истолкования, согласно которому атом водорода есть продукт духовных сил, а переход электрона с одной орбиты на другую осуществляется в силу актов свободной воли. Таким образом, необходимо поставить вопрос, не может ли ньютоновской механике сопутствовать мета-

физическое истолкование, которое оправдывало бы вмешательство в физику духовных сил и свободной воли. Поскольку все такие истолкования, по существу, представляют собой применение аналогий обыденного здравого смысла к физическим теориям, постольку мы можем лишь поставить вопрос, является ли более «естественным» или более соответствующим точке зрения здравого смысла интерпретировать с помощью духовных сил квантовую механику, чем интерпретировать ньютоновскую механику.

2. Популярные интерпретации атомной физики

Интерпретация атомной физики, имевшая хождение среди философов, деятелей просвещения и священников, а также среди многих ученых и неспециалистов, проявляющих интерес к науке, представлена в таких книгах, как «Ограниченность науки» Салливена (T. W. N. Sullivan, «The Limitations of Science»). Автор очень ясно излагает доказательство, согласно которому физика XX века снова восстановила во вселенной роль духа, почти совсем изгнанного ранее ньютоновской физикой. Поскольку это доказательство появилось за последнее время в огромном количестве книг, статей и лекций, то было бы поучительно привести его и здесь. «Механистическая» наука, господствовавшая с XVII века, исходила, как пишет Салливен, из того, что:

«Из всех элементов всего нашего опыта только те элементы имеют отношение к действительному миру, которые знакомят нас с гравитационными аспектами материальных явлений (например, массы и скорости частиц). Ни один из других элементов нашего опыта, как, например, наши восприятия цвета и т. д., наши реакции на красоту, наше чувство мистического общения с богом, не имеет ничего, что бы соответствовало ему в объективном мире».

Салливен подчеркивает, что физика XX века не говорит о «реальности», как это делает механистическая физика, говоря о «материи и движении». В теории относительности и в квантовой теории,

заявляет Салливен, «мы не выдвигаем требования знать природу тех сущностей, о которых мы рассуждаем, а стремимся только узнать их математическую структуру. Это на самом деле и есть то, что мы знаем». Мы имеем дифференциальное уравнение эйнштейновского гравитационного поля, или, возможно, единого гравитационного и электромагнитного поля; мы имеем волновое уравнение Шредингера или Дирака. Оба уравнения, если мы включим операциональные определения, дают нам возможность предсказывать будущие наблюдения, но исходя из них нельзя утверждать, какая имеется физическая реальность за этой математической структурой, в то время как на основе ньютоновской физики можно было говорить, что за уравнениями стоит реальность, состоящая из движущейся материи. «Тот факт, — рассуждает Салливен, — что наука ограничивается знанием структуры, имеет, очевидно, большое «гуманистическое» значение. Ибо это значит, что проблема природы реальности не предрешается». Так как нас больше не принуждают верить, что реальна только движущаяся материя, то «от нас больше не требуется верить в то, что нашей реакции на красоту или мистическому чувству общения с богом ничего не соответствует в объективном мире. Вполне возможно, что они представляют собой именно то, за что их так часто принимали, то есть что они суть ключи к природе реальности».

Это доказательство сводится, коротко говоря, к подчеркиванию одного резкого поворота в эволюции физики; в период «механистической» (ньютоновской) физики только материальные тела и их движения рассматривались как реальности, тогда как физика XX века ничего не говорит о том, что представляет собой реальность. Поэтому ньютоновская физика против признания реальности «красоты и религиозной веры», тогда как теория относительности и квантовая теория совместимы с верой в «красоту и веру» как реальности. Но это доказательство, конечно, чрезмерно упрощено. Утверждение, что материальные тела являются единственной реальностью,

никоим образом не связано необходимо с ньютоновской физикой. Во второй половине XIX века существовала, например, энергетическая школа, представители которой считали, что материальные тела совсем не реальны, тогда как «энергия» является единственной реальностью в физике. Действительно, данная школа, лидерами которой были Рэнкин в Англии, Оствальд в Германии и Дюгем во Франции, уже заявила, что, согласно этой интерпретации, такие сущности, как красота и вера, больше не исключаются из «реальности». В энергетической школе, особенно среди последователей Оствальда, мы находим определенную попытку считать такие психические сущности, как счастье, красота, энтузиазм и т. д., видами «энергии».

Кроме того, существует много ученых, которые высказывают утверждения о «реальности», лежащей в основании теорий квантовой механики. Некоторые авторы утверждают, например, что единственная реальность в субатомной физике состоит из волн де Бройля. В этом случае перед нами, конечно, та же трудность, что и в механистической физике; едва ли более правдоподобно считать красоту и мистическое общение с богом волнами де Бройля, чем материальными телами. Все психические сущности (красота, религиозный опыт и т. д.) не в большей мере входят в содержание квантовой механики, чем в содержание ньютоновской физики. Они добавляются к содержанию квантовой механики как результат метафизических интерпретаций, что с таким же успехом может быть сделано и относительно ньютоновской физики.

Другими словами, эти психические сущности входят в науку как аналогии, которые сближают ее с опытом обыденного здравого смысла. Единственное действительное расхождение состоит в том, что принципы физики XX века гораздо более удалены от суждений обыденного здравого смысла, чем принципы ньютоновской физики. Если мы интерпретируем, например, принцип неопределенности с помощью аналогий здравого смысла, то легко приходим к утверждениям о психических явлениях «высшего», или скорее более слож-

ного, типа. Мы говорим, что мир свободен от жесткой цепи причинности, что, как говорит Салливен, электрон в настоящее время — весьма туманная сущность. Он утверждает, что электрон ни в какой степени не похож на столь определенную вещь, как «твердый, субстанциальный маленький атом людей викторианской эпохи», намекая на то, что освобождение от жесткого викторианского кодекса поведения могло иметь связь с новой атомной физикой. Выдающийся английский физик Джинс формулирует свои аналогии здравого смысла путем сравнения вселенной с тюрьмой:

«Классическая физика, видимо, блокировала и заперла дверь, ведущую ко всякой свободе воли; новая физика едва ли делает это; она почти ясно предполагает, что дверь была бы открыта, если бы мы могли только найти рукоятку. Старая физика показывала нам вселенную, которая походила бы больше на тюрьму, чем на место благополучия. Новая физика показывает вселенную, которая выглядит так, будто бы она была задумана как подходящее место обитания для свободного человека, а не просто убежище для него — как родной дом, в котором существует по крайней мере возможность для нас изменять события в соответствии с нашими желаниями и проводить жизнь в стремлениях и достижениях»¹.

Поучительно посмотреть, как выглядят эти интерпретации, когда они из книг по физике через посредство философских книг проникают в периодическую печать, служащую цели просвещения образованных неспециалистов. Выдающийся писатель по вопросам образования и политики Эрвин Д. Кэнем (D. Capham) пишет:

«В течение всего XIX и части XX века мы жили в атмосфере самоуверенного материализма... Это был механистический мир, и мы находились на самой его вершине. Мы овладевали видимыми силами материи, и материя была нашим богом. Ученый-естествовед бросал вызов духовным откровениям библии учениями

¹ J. J e a n s, Physics and Philosophy, Ch. VII, p. 216.

атеизма и рационализма. Можно, пожалуй, сказать, что эта эра материализма длилась до того дня, когда атомная бомба разорвалась над Хиросимой... Я думаю, вполне будет правильно сказать, что материя теперь совершила самоубийство, — обнаружилось, что материя больше неспособна защищать или служить кому-либо и где-либо, если стоящая за ней мысль не ориентирована в новых понятиях взаимной зависимости».

Это рассуждение вполне правильно подчеркивает тот момент, что не материал, взорвавшийся в бомбе, ответствен за случившееся в результате взрыва, а люди, угрожающие друг другу так, что исследования, производство и военные операции следуют за этим как результат человеческих усилий. Такова была ситуация во время «ортодоксальных бомб», которые взрывались согласно правилам ньютоновской физики совершенно так же, как бомба Хиросимы взорвалась согласно правилам физики XX века. В вышеупомянутой статье Кэнем пишет:

«Новое понятие космоса, в котором материя больше не обладает своей прежней реальностью и субстанциальностью, теперь пользуется признанием среди большинства ученых-естественников. В XX веке им казалось, что они знают ответы на все вопросы и что вселенная одета в чисто механистическое одеяние. Теперь их разъяснения вращаются вокруг говорящего за себя «Принципа неопределенности» Гейзенберга. Это очень обнадеживающее изменение»¹.

Это заявление служит очень хорошим примером того, как «аналогии здравого смысла», используемые во многих изложениях современной физики, могут вести к заблуждению, если их понимать буквально. Представители прежней физики, которые «знали все ответы», противопоставляются представителям новой физики, в которой доминирующим принципом является принцип неопределенности. Из нашего изложения научного аспекта субатомной физики можно ясно увидеть, что слово неопределенность в принципе

¹ E. D. C a n h a m, The Christian Science Monitor.

Гейзенберга не обозначает неопределенности в отношении истинности научной теории. Оно скорее относится к той неопределенности, которую мы неизбежно вводим в описание физической системы, если пытаемся воспользоваться только старыми ньютоновскими понятиями, вроде «частица». Мы должны помнить, кроме того, что само слово реальность относится к тем же аналогиям обыденного здравого смысла, если оно применяется за пределами языка обыденного здравого смысла. Можно было бы гораздо тщательнее исследовать способ употребления слов реальный и реальность и важность этих слов при взаимосвязи, которая существует между физической наукой в строгом смысле слова и использованием этой науки для влияния на человеческое поведение.

3. Наука и метафизика в принципе неопределенности

Мы познакомились с научным аспектом субатомной физики; мы узнали, как путем вычисления можно предсказывать будущее статистическое распределение точек-событий и импульсов-событий, если заданы начальные условия, определяемые экспериментальными данными. Метод, употребляемый для этого предсказания, состоит в интегрировании волнового уравнения Шредингера, вычислении волны де Бройля, описываемой с помощью ψ -функции, и применении операционального определения, согласно которому квадрат ψ есть среднее число точек-событий, имеющих место в определенной области.

Все, с чем мы сталкиваемся в субатомной физике, более или менее именно такого рода. Например, мы хотим предсказать число ядер урана, которые должны подвергнуться делению под воздействием нейтронов. Это предсказание имеет большое значение для применения квантовой теории при производстве ядерной энергии. Этот вид предсказания математически того же типа, что и всякое предсказание числа точек-событий в определенной области. Поэтому вся практическая работа может быть выполнена без

учета принципа неопределенности. Этот принцип играет роль только тогда, когда мы задаемся вопросом, в каких пределах мы можем сформулировать нашу проблему, употребляя традиционное понятие частиц, описывающих траектории «в пространстве и времени», или, другими словами, декартовы координаты x , y , z , которые мы можем описать как непрерывные функции времени t . Исследованиями таких ученых, как Гейзенберг, Шредингер и де Бройль, было раскрыто, что точка-событие не может быть предсказана посредством введения траекторий, проходящих через точки в пространстве, где события должны иметь место. Предсказание может быть сделано только путем вычисления ψ -функции и путем применения ее операционального значения.

Однако это описывает метод, который действительно применяется в атомной физике. Здесь мы употребляем понятия, очень далекие от тех, с помощью которых мы описываем мир нашим традиционным языком обыденного здравого смысла. «Принцип неопределенности» есть попытка ввести понятия здравого смысла, вроде частиц и траекторий, которые, конечно, предполагают, что движущаяся по траектории частица в каждый данный момент времени имеет определенные координаты и определенные компоненты скорости. Была сделана попытка изобрести такие законы движения частиц, чтобы наблюдаемые результаты были тождественны с результатами, найденными благодаря применению волновой механики, то есть вычислению ψ -функции, исходя из волнового уравнения Шредингера. Чтобы сформулировать такие законы для поведения частиц, мы, конечно, должны оставить понятие траектории, описываемой этими частицами; допущение существования траекторий привело бы к попытке получить результаты квантовой механики из механики Ньютона. Поэтому должны быть введены совершенно новые законы.

Чтобы получить результаты волновой механики с помощью описания поведения частиц, необходимо ввести понятия, вроде «неопределенность координат»,

«импульс частицы», «среднее число ударов, производимых частицей в определенной области экрана», и т. д. Эти законы поведения частиц, конечно, сильно отличаются от представлений здравого смысла о частицах. Как указал Бор, мы должны избегать приписывания атомному объекту (такому, как электрон) традиционных свойств частицы. Как мы показали, «положение и скорость частицы» есть выражение без операционального значения, если его применять к малым частицам. Чтобы «гуманизировать» эти частицы, которые не имеют традиционных свойств частиц, мы должны поставить вопрос о том, как вела бы себя частица, если бы она имела традиционные свойства, но была бы при этом очень мала. Тогда мы пришли бы к знаменитому выводу, который впервые был получен Гейзенбергом: всякая попытка измерить положение частицы делает невозможным измерение импульса, и наоборот.

Этот способ выражения сохраняет определенную аналогию с опытом обыденного здравого смысла; он сохраняет привычку говорить о частицах, описывающих действительные траектории; они «имеют» положение и импульс, но положение и импульс не могут наблюдаться одновременно. Этот способ выражения правилен, если рассматривать его как аналогию, взятую из опыта обыденного здравого смысла. Если бы мы сказали, что все это происходит на самом деле, то данный способ выражения был бы метафизической интерпретацией, говорящей о том, как в действительности ведут себя атомные объекты. Альфред Ланде в своем превосходном учебнике по квантовой механике утверждает: «С физикой не согласовалось бы принятие идеи, что существуют частицы, обладающие определенными положениями и импульсами в любое данное время, и признание, что эти данные никогда не могут быть подтверждены экспериментально как бы из-за злонамеренного каприза природы»¹.

¹ A. L a n d e, Quantum Mechanics.

Ланде также правильно и ясно указывает, что мы можем избежать этой метафизической интерпретации, следуя способу, каким Нильс Бор описывал ситуацию, в которой должен иметь место индетерминизм. Бор выразил это очень ясно:

«Когда экспериментальное устройство или состояние может интерпретироваться с помощью частиц, положение которых определяется с погрешностью Δx , тогда это же устройство или состояние не может интерпретироваться с помощью частиц, обладающих импульсами, определяемыми точнее, чем $\Delta P_x = h/\Delta x$, и наоборот».

Интересно, что, согласно Бору, всякое состояние или устройство может быть интерпретировано посредством частиц; однако он не утверждает, что частицы существуют. Если мы ограничимся тем, как Бор излагает законы субатомных явлений, то физическая теория явлений этого типа в принципе не будет отличаться от всякой другой физической теории. В общем она будет иметь ту же логическую структуру, которую мы описали выше, при рассмотрении специальных случаев. Философские интерпретации, которые вводятся принципом неопределенности Гейзенберга и принципом дополнительности Бора, не вносят никакого элемента неясности или иррациональности, если мы будем строго придерживаться концепции, что эти принципы являются интерпретациями субатомных явлений в том смысле, который мы описали как в этой, так и в гл. 9, трактующей об атомных явлениях со строго научной точки зрения.

Эти интерпретации, однако, заведут нас в тупик, если мы примем их чересчур всерьез, то есть если мы будем рассматривать их как утверждения о реальности. Мы сами вносим затруднения, если задаем вопрос, что представляют собой реальные физические объекты в субатомной физике. Реальны ли частицы или реальны ли волны де Бройля (описанные с помощью ψ -функции)? Если мы скажем, что частицы реальны, то какой будет смысл говорить, что реальная частица в определенный момент времени имеет неопределенное положение? Если же мы говорим, что

волны де Бройля реальны, то следует заметить, что операциональное значение ψ связано с вероятностью, что точки-события имеют место в определенной области пространства. Когда мы говорим, что эти волны вероятности реальны, то употребляем слово волна в том же смысле, как оно употребляется в таких выражениях, как волна самоубийств, волна болезней и т. д. Говорить о волне гриппа как о реальной волне было бы обычным употреблением слова реальный.

Генри Маргенау, выдающийся специалист как в области физики, так и в области философии науки, тщательно разбирает проблему реальности в субатомной физике и квантовой механике. Мы ограничимся специальной проблемой относительно того, могут ли частицы (электроны, нейтроны и т. д.) в субатомной физике рассматриваться как реальные вещи или они суть только конструкции, в то время как физическую реальность составляют волны де Бройля. Маргенау доказывает, что «использование вероятностей как существенных орудий в описании природы привело к разделению нашего опыта на две области: одну — состоящую из непосредственных данных (наблюдений, измерений), которые совсем не поддаются предсказанию в деталях, и другую — чистую и рациональную, являющуюся областью законов и закономерностей, вечных субстанций, принципов сохранения и т. п.»¹.

Маргенау предлагает назвать первую область *исторической*, а вторую — *физической реальностью*. Если мы применим это разделение к явлениям и интерпретациям субатомной физики, то станет ясно, что темные пятна, создаваемые на экране попаданиями электронов или фотонов, являются элементами *исторической реальности*; причем каждый из них в отдельности не детерминирован экспериментальными условиями. Само же распределение мест попадания, или, говоря математическим языком, решение волнового уравнения (ψ -функция Шредингера), определяется

¹ H. Margenau, *The Nature of Physical Reality: A Philosophy of Modern Physics*.

экспериментальными условиями однозначно; более того, ψ -функция может быть вычислена для любого момента времени, если она известна во всем пространстве в один момент времени. Маргенау поэтому рассматривает ψ -функцию как часть *физической реальности*. В этом он чувствует оправдание благодаря «философскому взгляду, который отождествляет реальное с элементами опыта, причинно связанными во времени и пространстве... Следовательно, безопасно говорить... что физическая наука потеряла бы свою власть над реальностью, если бы апелляция к закону или порядку была запрещена в качестве главного требования». Если мы посмотрим на индивидуальные события, например индивидуальные попадания на экран и появление индивидуальных пятен, то заметим, что здесь нет никаких закономерностей. Если же мы обратимся к схеме ударов или пятен на экране в целом, то увидим, что отсюда вытекает очень простой и ясный закон. ψ -Функция, определяющая распределение или вероятность этих пятен, повинуется причинному закону. «Закономерность, — пишет Маргенау, — обнаруживается прежде всего в совокупностях или, когда она приписывается индивидуальным событиям, в *вероятностях*, присущих этим событиям. Законы управляют этими вероятностями, но не управляют простыми событиями». Так как, согласно Маргенау, «реальность» должна приписываться количествам, подчиняющимся причинному закону, он вполне правильно заключает: «Чтобы быть в согласии с духом физической науки, мы должны, следовательно, принять заключение, неприемлемое для многих мыслителей прошлого, согласно которому *вероятностям присуща некая мера реальности*... Таким образом, как физическая реальность вероятность распространилась по всему пространству как непрерывная среда, лишенная материи. Фактически она образовала поле»¹.

Поскольку вероятность событий измеряется квад-

¹ H. Margenau, *The Nature of Physical Reality: A Philosophy of Modern Physics*.

ратом модуля ψ -функции, постольку мы можем также сказать, что волна, описываемая с помощью ψ -функции, является физической реальностью. В параграфе, посвященном причинности в атомной физике, мы разберем эту роль ψ -функции с чисто научной точки зрения. Мы увидим, что закон причинности является действительным, если мы опишем состояние системы с помощью ψ -функции. До этого момента никакие философские или метафизические интерпретации не имеют места. Интерпретация становится все более и более удаленной от утверждений физической науки, она становится все более и более «метафизической», употребляя это выражение по мере того, как мы все больше говорим о «реальности», особенно о «физической реальности». Сказать, что ψ -функция подчиняется причинному закону, — значит остаться только в пределах физики. Но сказать, как предлагает Маргенау, что ψ -функция описывает физическую реальность, *потому что* она подчиняется причинному закону, — значит заниматься метафизической интерпретацией. Сказать же, что реально только то, что подчиняется причинному закону, — значит устанавливать аналогию с опытом обыденного здравого смысла. Обычные тела, с которыми мы имеем дело в опыте здравого смысла, как-то: камни, планеты или тела животных, — подчиняются причинному закону. Поэтому мы по аналогии называем все объекты «реальными», если они тоже подчиняются причинным законам. В этом смысле Маргенау называет вероятность, или ψ -функцию, частью физической реальности.

Это утверждение, конечно, верно, если и только если учитывать, что мы называем эти объекты «реальными» потому, что они подчиняются причинному закону, и не забывать, что эта связь между «реальностью» и причинностью основывается только на аналогии с опытом обыденного здравого смысла. Мы легко можем убедиться в этом, если обратим наше внимание на тот факт, что другие авторы отрицают «реальность» «вероятностей» и заявляют, что частицы (вроде электронов, нейтронов и т. д.) являются частью физической реальности. Как одного из самых

выдающихся среди них можно упомянуть Вильяма Х. Веркмейстера, который написал два учебника и много статей по философии науки. Он начинает с утверждения, что всякая концепция «физической реальности» должна начинаться с «обычных вещей», вроде скал и планет, которые «реальны», согласно утверждениям здравого смысла. Затем, рассуждает он, следует добавить те объекты, которые находятся в непосредственном взаимодействии с «обычными вещами». На обычном языке физики мы говорим, что электроны или другие субатомные частицы взаимодействуют с макроскопическими кусками металла, и это взаимодействие (например, рассеивание) описано посредством формул, выведенных в математической физике. Поэтому, рассуждает Веркмейстер, эти субатомные частицы должны быть включены в «физическую реальность» вместе с обычными вещами. Но вероятности, или « ψ -функции», не взаимодействуют с обычными вещами, если выбирать слова, по возможности более близкие к словоупотреблению обыденного здравого смысла.

Согласно Маргенау, «волны вероятностей» де Бройля относятся к физической реальности, а частицы не относятся, тогда как, по Веркмейстеру, материальные частицы являются единственными «реальными объектами» в субатомной физике. Согласно же концепции философской интерпретации, представленной в этой книге, между утверждениями Маргенау и утверждениями Веркмейстера о «физической реальности» нет противоречия. Оба утверждения основываются на одной и той же научной доктрине — квантовой теории де Бройля и Бора; они интерпретируют одну и ту же научную теорию с помощью разных аналогий, взятых из опыта обыденного здравого смысла. Эти два утверждения начинают противоречить друг другу только в том случае, если кто-либо поверит, что метафизические утверждения являются результатами «видения с помощью интеллекта», или «восприятия высшей реальности за пределами наблюдаемых фактов». В этом случае Маргенау полагает, что «высшая реальность» состоит из

«волн вероятностей», которые, конечно, являются не материальными, а скорее психическими или духовными сущностями, тогда как, по утверждению Веркмейстера, «высшая реальность» состоит из материальных частиц, или, по терминологии некоторых философов, из кусков косной материи.

В первом случае субатомная физика становится опорой идеалистического или спиритуалистического мировоззрения, тогда как во втором случае атомная физика XX века не может использоваться для поддержания идеализма и для опровержения материализма. Такие метафизические интерпретации очень часто имеют целью поддержание желаемого поведения людей, какого-либо излюбленного образа жизни.

Едва ли может быть сомнение в том, что Маргенау рассматривает утверждение, что «волны вероятности» являются частью физической реальности, не как интерпретацию с помощью аналогий, а как «истинное утверждение» о реальности. Это становится особенно ясно, если мы сравним позицию Маргенау по вопросу о реальности с позицией Бора. Согласно принципу дополнительности Бора, не существует однозначного описания изолированных атомных объектов. Исключающие друг друга разные экспериментальные устройства дают разные описания одних и тех же атомных объектов. Поскольку в условных терминах мы не можем описать самый атомный объект, то необходимо начать с объекта в пределах конкретных рамок экспериментального устройства, которое мы можем также назвать и конкретной операцией наблюдения. Если дана конкретная ситуация, то применение математического аппарата квантовой теории, или, другими словами, дифференциального уравнения для ψ -функции, позволяет нам предсказывать явления, которые можно ожидать как результат нашего эксперимента. Согласно Бору, слово «явление» следует понимать так же, как оно понимается на языке здравого смысла. Бор говорит, что, как бы далеко явления ни выходили за пределы классического физического объяснения, отчет о вся-

ком свидетельстве должен быть выражен в классических терминах.

Бор отказался бы придать «явлению», или ψ -функции, атрибут «реальный». Маргенау, однако, описывает позицию, занятую Бором, следующим образом:

«Физика имеет выбор между описанием природы в терминах классических наблюдений (положений частиц и т. д.) и описанием ее в терминах абстрактных состояний, таких, как ψ -функции. Первый выбор допускает визуальные наблюдения [явлений], но требует отказа от причинности; второй запрещает визуальные наблюдения, но допускает сохранение причинности. И эти альтернативы никогда не могут быть примирены. Бор не требует от науки, чтобы она сделала выбор; а требует, чтобы она покорилась вечной дилемме. Он хочет, чтобы ученый научился жить, сидя на острие этой дилеммы, что с философской точки зрения может рассматриваться как благой совет»¹.

Сам Бор не видит дилеммы в этой ситуации. Согласно ему, существуют два описания одного и того же атомного объекта, которые служат разным целям и не противоречат друг другу.

Говоря словами Маргенау, «наука фактически сделала свой выбор, и этим выбором была вторая альтернатива (описание с помощью ψ -функций)». На самом же деле выбором науки было то, что использование ψ -функции является наилучшим методом вычисления результата определенного эксперимента. Если под «реальностью» имеется в виду именно это, то Маргенау прав в своем утверждении «реальности» «вероятностной волны». Согласно же Бору, изложение с помощью ψ -функции и изложение с помощью «наблюдаемого» не являются, как называет их Маргенау, «соперничающими теориями», между которыми, может быть, и будет найден выбор, а являются двумя описаниями в пределах одной и той же теории. Маргенау называет взгляд Бора «агностицизмом»,

¹ H. Margenau, *The Nature of Physical Reality: A Philosophy of Modern Physics*.

который опасен потому, что он поощряет отказ от познания и подрывает веру исследования в других областях. Что касается Бора, то его взгляд представляет собой не агностицизм и отсутствие выбора, а исключительно глубокое решение — решение соединить в одной и той же картине мира явления, возникающие при всех возможных обстоятельствах. Если говорить на уровне философской интерпретации, то решение Бора является решением объединить все возможные аналогии с опытом здравого смысла в одной картине мира.

4. Физика и «свобода воли»

Как уже неоднократно отмечалось, наша механика субатомных тел XX века разрешает конфликт, который раньше имел место между доктриной, что существуют «свободные решения» человеческой воли, и учениями ньютоновской механики. Положение и скорость каждой материальной частицы, согласно ньютоновской механике, могут быть вычислены, если мы знаем положение движения в какой-либо предшествующий момент времени и силу, действующую на все массы, исходя из уравнений типа $ma = f$, где m обозначает массу, a — ускорение и f — силу, действующую на частицу с массой m . Эти уравнения могут быть решены только в том случае, если мы знаем силу f . Вся наша физика практически основывается на предположении, что существуют только три типа сил, а именно: силы тяготения, электромагнитные силы и — в самой новой физике — ядерные силы. Если мы будем понимать уравнение $ma = f$ в его чисто физическом смысле (см. гл. 4), то не сможем в ньютоновском уравнении подставить вместо f какую-либо духовную силу или силу воли. Если все наблюдаемые движения могут быть вычислены без силы воли как компонента f , то воля не может влиять на движение материальных масс. Поскольку всякое человеческое действие ведет к какому-либо движению масс, постольку сила воли не может произвести какое-либо действие, если ньютоновская механика верна в ее

строго физическом смысле. Но если мы допустим, что сила воли может быть подставлена вместо f в ньютоновском уравнении, то между ньютоновской механикой и свободной волей не будет никакого конфликта.

В тот период, когда ньютоновская механика признавалась за бесспорное основание физики, делалось множество попыток найти «бреши» в предсказаниях механики и использовать их как «лазейки» для введения свободы воли. Многие авторы, например, указывали, что частица, движущаяся перпендикулярно направлению действующей на нее силы, не будет выполнять никакой работы и не будет поэтому поглощать никакой энергии. Следовательно, сила воли могла бы производить такое движение, не нарушая закона сохранения энергии, выведенного из ньютоновской механики. Более хитроумным способом нахождения «бреши» было указание на особые точки в дифференциальных уравнениях механики. В такой точке силовое поле бесконечно или неопределенно, и ускорение a не может быть точно вычислено на основе уравнений. Здесь, доказывали некоторые философы, сила воли может получить господствующее положение и определить движение материальных масс.

Если, однако, сила воли может быть подставлена в уравнение Ньютона вместо f , то нет необходимости ни в каких «брешах», чтобы свободу воли сделать совместимой с механикой. Если же, наоборот, сила воли не может приводить в движение материальную массу, то в «брешах» нет никакой необходимости. Если, например, массы должны двигаться перпендикулярно механической силе, то нужна сила, чтобы двигать ее в каком-либо определенном направлении. Хотя никакое движение не нуждается в энергии, оно все же нуждается в силе для определения направления. Например, увеличение импульса необходимо для избрания какого-либо определенного движения. Точно так же, если имеется только одна особая точка, то движение за нею может быть определено посредством введения добавочного закона движения. Но в таком случае снова встает та же проблема, что и раньше. Если сила воли может определить движение частицы

в особой точке дифференциальных уравнений, то нет никакого основания утверждать, что подстановка этой силы вместо f в ньютоновском уравнении неправильна. В этом случае, однако, движение частицы в регулярной точке зависело бы, кроме гравитационных и электромагнитных сил, также и от силы воли. Свободная воля была бы понятна и без введения каких-либо «брешей».

Следовательно, всякое обоснование свободной воли брешами вопроса не решает; если сила воли может заменить физическую силу, то бреши не нужны; если же такая замена неправильна, то бреши бесполезны, потому что тут необходим добавочный закон, который определял бы движение массы, начиная с бреши. Этот добавочный закон является, конечно, физическим законом, потому что он определяет движение материальных масс. Если сила воли может играть роль добавочного закона, то она с таким же успехом могла бы играть роль и в начальных ньютоновских законах. По всем этим основаниям введение «брешей» в механические законы не приносит никакой пользы для решения проблемы свободы воли. Если мы согласимся с этим рассуждением, то легко прийти к заключению, что замена ньютоновской механики квантовыми механиками Бора или Гейзенберга, или, другими словами, механиками субатомных частиц, не может принести какой-либо пользы для решения проблемы свободы воли или свободы решений.

Чтобы выяснить это, может быть, лучше всего вернуться к примеру из субатомной физики, который мы использовали в трактовке научного аспекта. Мы можем взять пучок электронов, который проходит через отверстие в диафрагме и падает на экран. Согласно ньютоновской механике, точка, в которой частица попадает на экран, может быть предсказана, исходя из состояния частицы в момент времени, когда она проходит через отверстие в диафрагме. Это состояние определяется в ньютоновской механике положением и импульсом частицы в момент прохождения через диафрагму.

В субатомной механике такого состояния не существует. Мы знаем только положение отверстия в диафрагме и способ, каким пучок электронов испускается. При этих условиях теория субатомной механики позволяет нам вычислить статистическое распределение точек попадания на экране; мы можем узнать, сколько в среднем будет точек попадания каждую секунду в квадратном дюйме экрана. Это распределение однозначно определяется законами волновой механики в соединении с операциональными определениями. Эти законы заменяют причинные законы ньютоновской механики. Если никакая ньютоновская (то есть гравитационная или электромагнитная) сила не действует на электроны, проходящие сквозь диафрагму, то, согласно ньютоновской механике, они будут подчиняться закону инерции, а согласно волновой механике, будут создавать на экране систему пятен вокруг центрального пятна, которое получилось бы в соответствии с законом инерции.

Если мы применим какую-либо распределенную силу, например электромагнитное поле, то единичное пятно, производимое согласно закону инерции, было бы смещено на другое единичное пятно. Если мы допустим, что волновая механика правильна, то система пятен, появляющаяся на экране, если не действуют никакие силы, будет изменяться, когда будет применяться электростатическая, или магнитная, или какая-либо другая физическая сила. Другими словами, всякая физическая сила производит иное статистическое распределение точек попадания на экране. Поскольку физические силы определяют только статистическое распределение пятен, но не определяют, где в какой-либо определенный момент времени будет произведено пятно, постольку мы опять получаем ситуацию подобно ситуации с «брешами». Поскольку появление пятна в определенный момент времени не определено, постольку сила воли может вмешаться и определять появление пятна в определенный момент в определенном месте на экране, не нарушая законов физики.

Однако это рассуждение не помогает, как и в случае других типов бреши. Если мы допустим научный аспект субатомной физики, то статистическое распределение в конце эксперимента полностью определяется экспериментальным устройством и применяемыми силами. Это значит, что никакая физическая сила не может ограничить статистическое распределение таким образом, чтобы мы смогли предсказать, когда падение произойдет в отдельной точке экрана. Следовательно, никакое добавление физической силы (гравитационной или электромагнитной) не может превратить статистический закон в причинный закон, где единичные события однозначно определяются. Таким образом, мы снова должны допустить, что сила воли, духовная сила, может произвести выбор между возможностями, оставляемыми статистическим законом. Но если мы допустим, что духовная сила может производить движение материальных масс, то мы можем с таким же успехом допустить, что духовная сила может быть подставлена вместо f в ньютоновском законе $ma = f$. Если бы это было правильно, то в уравнении движения мы не нуждались бы ни в каких брешах и соответственно ни в каких статистических законах движения.

Из всех этих положений, по-видимому, следует, что изменением теорий физики мы не можем как-либо содействовать пониманию того, что получило название проблемы свободы воли, или свободы решения; другими словами, проблема физического детерминизма очень мало затрагивает проблему свободы воли. В физике мы только однажды встречаемся со случаем, где слово свободный или свобода может быть применено с пользой. Всякий, кто даже элементарным образом познакомился с механикой, знает разницу между свободными колебаниями. Например, если мы возьмем маятник, на который не действует никаких сил, помимо силы тяготения, то он будет колебаться с частотой, зависящей только от длины маятника L и от ускорения тяжести g . Эта частота n , как она вычисляется, исходя из ньютоновских законов, есть $n = \sqrt{g/L}$.

Мы называем n характеристической частотой маятника, или частотой свободного колебания, потому что она не зависит от какой-либо частоты, которая соответствовала бы действию внешних сил. Если на маятник действует внешняя сила с частотой N , которая зависит, конечно, только от внешних влияний, а не от собственной частоты маятника. Если маятник предоставлен самому себе, он будет совершать «свободное колебание» частоты n ; если же он испытывает периодические толчки с частотой N , то он будет совершать «вынужденное колебание», которое зависит одновременно от n и N . Действительное колебание будет наложением колебаний с частотами n и N . Оно будет становиться тем более интенсивным, чем ближе N будет к n , и будет выступать как явление резонанса, то есть как колебание с большой амплитудой, если N будет очень близким к n .

Мы можем сказать, что в первом случае поведение маятника зависит только от него самого, его движение свободно. Во втором случае оно определяется внешними влияниями. Поведение людей анализировалось таким же способом. Образ поведения зависит отчасти от внутренних факторов, которые существовали бы даже и в том случае, если бы на человека совсем не оказывало влияния его окружение. Примером такого свободного действия человека было бы мышление, которое полностью проистекает из собственного сознания человека и на которое не влияет ни чтение книг, ни речь других людей. Мы понимаем, что эта характеристика свободы имеет значение только на уровне описания, делаемого обыденным здравым смыслом, но становится очень неопределенной, если мы попытаемся получить научное понимание терминов. Свободным действием человека было бы движение его ног или рук, вызываемое только внутренними стимулами.

Ясно, что такое движение, строго говоря, не существует. С другой стороны, верно также и то, что, говоря на повседневном языке, правильно будет говорить, что некоторые действия происходят благодаря внешним влияниям, а некоторые — главным образом

благодаря внутренним стимулам. Случаи с внешними влияниями распознать легко. Если сильный человек толкает слабого, то в состоянии движения окажется слабый; это движение, конечно, не является свободным. Если же человек, находящийся в покое, не испытывает внешнего толчка, который привел бы его в движение, но встает по собственному желанию, то мы можем описать это явление, сказав, что «он встает свободно». Но всякий почувствует, что это различие очень неопределенно. На самом деле различие между свободным колебанием и вынужденным колебанием в механике резким бывает только тогда, когда оно рассматривается слишком упрощенно. Утверждение, что колебания маятника, предоставленного силе тяготения, имеют частоту, которая не зависит от какого-либо внешнего влияния, истинно только в том случае, если мы оставим в стороне проблему изготовления маятника из сырого материала и получения сырого материала благодаря экономическому сотрудничеству очень многих людей. Только таким неопределенным образом слово свобода может употребляться в физике и из физики переноситься в проблему человеческих действий.

Если мы хотим иметь суждение о том, что физика может сделать для проблемы свободы воли, то мы должны исследовать, что думают люди, действительно заинтересованные в существовании свободы воли и рассматривающие ее как имеющую большое значение для понимания мира и для желательного поведения людей. Мы увидим, что все эти люди охотно признают, что в мире физических явлений существует строгий детерминизм. Они считают, что существуют такие явления, которые не являются ни физическими, ни духовными и которые подчиняются законам, совершенно отличным от физических законов.

Обсуждая различие между ньютоновской механикой и субатомной механикой XX века, мы нашли, что это различие ничем не помогает решению проблемы свободы воли. Однако выдающийся английский астроном и специалист в области математической физики Артур Эддингтон фактически воспользовался субатом-

ной физикой XX века для поддержки популярной веры в свободную волю, которая многим людям казалась необходимой предпосылкой веры традиционной религии и этики. Он начинает с утверждения, что будущее представляет собой комбинацию причинных влияний прошлого с элементами, не поддающимися предвидению из-за статистического в основном характера законов субатомной физики. «Наука поэтому не стоит в моральной оппозиции к свободной воле». Это верно, конечно, только в том случае, если воление может заполнить брешу, оставляемые статистическими законами. В заключение своей книги Эддингтон делает историческое утверждение:

«Вероятно, можно сказать, что заключение, которое можно вывести из этих аргументов, взятых из современной науки, таково, что религия впервые стала возможной для разумного ученого около 1927 года»¹.

Именно в 1927 году Гейзенберг выдвинул свой принцип неопределенности. В книге, написанной гораздо позднее, Эддингтон дает более тщательный анализ своего прежнего доказательства в пользу свободы воли. Он решительно утверждает, что гипотеза о том, что воление может действовать посредством наложения на статистический закон, или, как мы говорили, путем инфильтрации через брешу, оставляемые этими законами, есть просто абсурд (nonsense). Он опять приводит доказательство в пользу свободы воли, выдвигая гипотезу духовной силы, но отрицает, что можно поддерживать веру в свободную волю с помощью принципа неопределенности Гейзенберга. Однако весьма многие авторы ухватились за более раннее и довольно поверхностное доказательство Эддингтона и не обратили внимания на более глубокое суждение в его книге, написанной гораздо позднее. Эта позиция очень многих философов и ученых является результатом долгой традиции, в которой свободная воля объяснялась с помощью «брешей» в «жесткой причинности» ньютоновской физики.

¹ A. Eddington, *The Nature of the physical World*, p. 350.

Философы и богословы, защищавшие эту веру, были заинтересованы не в защите индетерминизма в физике, а в утверждении, что существуют такие события и явления, которые подчиняются законам, отличным от физических законов. Метафизики и богословы защищают доктрину, что в царстве физики имеется детерминизм, но что в царстве духа господствует «свобода». Поучительно узнать, что самый популярный католический философ и богослов в США, епископ Фултон Дж. Шин, пишет по этому вопросу:

«Св. Фома Аквинский утверждает, что изменения в концепции эмпирической науки не предполагают изменения в метафизике, которая управляет этой наукой. Философия не зависит от науки... В квантовой теории и в принципе неопределенности нет абсолютно ничего такого, что могло бы показать, что какое-либо физическое явление беспричинно. Поэтому для свободы воли в физике нет никакого основания... Проблема свободы воли есть проблема не физики, а философии»¹.

Мы можем добавить к этому высказывание современного индийского философа, горячего поклонника метафизики как интеллектуального зрения и сильного сторонника «свободной воли». Налим Канта Брахма пишет о попытках Эддингтона и других ученых «доказать свободу воли» с помощью успехов физической науки:

«Если будущие эксперименты откроют нам, что индетерминизм, существование которого предполагается в движениях электрона, на самом деле не существует, то философия окажется беспомощной в доказательстве его положения, если она теперь признает доказательство профессора Эддингтона... Свобода и другие метафизические истины не могут быть доказаны в сфере явлений, где пространство, время и причинность являются единственными господствующими категориями»².

¹ B. F. Sheen, *Philosophy of Religion, the Impact of Modern Knowledge on Religion*, p. 148.

² Nalim Kanta Brahma, *Causality and Science*.

Для того чтобы узнать, как учение о свободе воли формулируется и доказывается теми, кто защищает ее по моральным основаниям, заглянем во французский философский журнал за 1953 год. Он содержит статью о «свободе решения», дающую обычную формулировку тех, кто защищает это учение. Автор пишет:

«Два классических доказательства устанавливают, по нашему мнению удовлетворительно, существование свободного решения; первое является моральным и имеет в виду заставить нас поверить в свободу; второе — психологическое и имеет целью укрепить эту веру. Наше нравственное сознание ставит нас перед должным, которое становится реальным, когда мы его сознаем. Реальный долг имеет смысл только в том случае, если мы повинемся или не повинемся ему добровольно. Это сводится к утверждению, что долг предполагает свободу, или, другими словами, если я верю, что нечто является моим долгом, то это предполагает веру в то, что я свободен»¹.

Это доказательство, свидетельствующее, что не может быть веры в долг, если нет веры в свободное решение, конечно, убедительно, если слова «долг» и «свобода воли» употребляются в том языке обыденного здравого смысла, которым мы пользуемся с самого детства. Если мы попытаемся применить более глубокий научный анализ, то доказательство, конечно, становится гораздо более сложным, но в конце концов оно будет очень простым в отношении психологического доказательства, к которому мы теперь обращаемся. Как пишет этот автор,

«Психологическое доказательство не нуждается в подробном изложении, потому что оно состоит в свидетельстве внутреннего созерцания: достаточно осознать это созерцание... Разве каждый не знает по опыту, что значит допустить моральную ответственность за действие? Допущение такой ответственности тождественно ощущению собственной свободы»².

¹ A. Valensin, Du Libre Arbitre, «Etudes Philosophiques», Paris, Presses Universitaires, 1953, p. 16 и далее.

² Там же.

Что бы ни думать об убедительности этих доказательств, ясно, как говорит наш автор, что основной вопрос сводится к следующему: как воля может осуществить свободный выбор между долгом и удовольствием? Однако ответ на этот вопрос никоим образом не становится более легким, если ньютоновская механика заменяется субатомной механикой. Это чисто психологический вопрос, и даваемый нами ответ полностью зависит от той психологической теории, которой мы придерживаемся. Вполне удовлетворительным с точки зрения старых психологических теорий является ответ на этот вопрос, данный в 1673 году Спинозой в его работе «Этика». Он пишет: «В душе нет никакой абсолютной или свободной воли; но к тому или другому хотению душа определяется причиной, которая в свою очередь определяется другой причиной, а эта — третьей, и так до бесконечности». Затем Спиноза приводит следующее доказательство:

«Душа составляет известный и определенный модус мышления и, следовательно, не может быть свободной причиной своих действий, иными словами, не может иметь абсолютной способности хотеть или не хотеть; к тому или другому хотению она должна определяться причиной, которая в свою очередь определена другой причиной, эта — третьей, и так до бесконечности»¹.

Согласно Спинозе, душевные состояния являются частью причинной цепи физических состояний, и вопрос, который мы можем поставить, касается не существования «брешей» в этой цепи, а скорее того, каким образом получается, что наше внутреннее наблюдение как бы говорит нам, что мы можем принимать «свободные» решения. Спиноза дает хороший ответ и на этот вопрос в приложении к первой части своей «Этики»:

«Достаточно будет взять за исходный пункт то, в чем все должны быть согласны; а именно — что все люди рождаются не знающими причин вещей и что все

¹ Б. Спиноза, Избранные произведения, Госполитиздат, 1957, т. 1, стр. 445.

они имеют стремление искать полезного для себя, что они и сознают. Первым следствием этого является то, что люди считают себя свободными, так как свои желания и свое стремление они сознают, а о причинах, располагающих их к этому стремлению и желанию, даже и во сне не грезят, ибо не знают их. Второе следствие — то, что люди все делают ради цели, именно ради той пользы, к которой они стремятся. Отсюда выходит, что они всегда стремятся узнавать только конечные причины совершившегося и успокаиваются, когда им укажут их, не имея, конечно, никакого повода к дальнейшим сомнениям»¹.

Если с крыши падает камень, то мы уже не говорим, что он упал преднамеренно, с целью попасть в мишень или, может быть, разрушить ее; мы «объясняем» падение камня законами тяготения Галилея и Ньютона. Спиноза подчеркивает, что поведение людей так же определяется причинами, как и падение камня; но из-за того, что человеческий организм есть очень сложная система, мы не знаем причин его движений и подставляем «конечные причины» или «цели». Такая цель есть то, что мы на повседневном языке называем «волей». Согласно Спинозе, «воля» есть психический феномен вроде воображения или мышления, который сопровождает наши действия, но никогда не бывает причиной наших действий. Мы переживаем психические явления, которые мы на донаучном языке обыденного здравого смысла описываем как «свободный выбор» или «свободное решение». Если бы падающий камень мог думать и говорить, то он тоже сказал бы, что он обладает «свободным выбором».

Подлинной научной проблемой является исследование того, как это ощущение свободного выбора возникает и какую пользу оно приносит человеческому организму. Психология обыденного здравого смысла, как мы знаем, описывает эту ситуацию как конфликт между «долгом» и «удовольствием». Эти термины, конечно, понятны и полны значения на уровне повседневного опыта. Каждый ребенок понимает, что ходить

¹ Б. Спиноза, Избранные произведения, т. 1, стр. 395.

в школу — долг, а посещать кино — удовольствие. Но могут возникать ситуации, когда посещение школы может стать удовольствием, а просмотр тяжелых кинофильмов с целью «изучения общественной жизни» — долгом.

Научная психология заменила созданные обычным здравым смыслом понятия долга и удовольствия более сложной системой понятий, как физика заменила созданные здравым смыслом понятия «покоя» и «движения» понятийными схемами теории относительности Эйнштейна.

Как пример такой научной психологии мы можем взять современную «глубинную психологию» (*depth psychology*), основанную на теории Зигмунда Фрейда и известную под именем «психоанализа». Фрейд изучал «анатомию» структуры человеческой личности. Помимо «я», которое заботится об удовольствии и старается разумным образом получить его, существует еще скрытое в бессознательной области человеческой личности «я» и «сверх-я».

Первое состоит из остатков элементарных животных инстинктов в человеческой личности, тогда как «сверх-я» состоит из таких черт личности, которые приобретаются под влиянием родителей, школы, церкви, военного и гражданского обучения. Некоторая часть того, что Фрейд назвал «сверх-я», приблизительно соответствует тому, что обычно называется «сознанием».

Конфликт между «удовольствием» и «долгом», который, согласно донучным формулировкам, разрешается «свободным выбором», был описан Фрейдом следующим образом:

«Пословица говорит нам, что никто не может служить одновременно двум господам. У несчастного «я» доля еще более тяжелая: «я» должно служить трем строгим господам и должно делать все от него зависящее, чтобы примирить запросы и требования всех трех. Эти требования всегда расходятся и часто кажутся совершенно несовместимыми; не удивительно, что «я» так часто падает под такой ношей. Три тирана—это внешний мир, «сверх-я» и «я». Если наблю-

дать стремления «я» удовлетворить их все, или, скорее, услужить им всем одновременно, то нельзя не пожалеть о том, что оно персонифицировано и устроено как отдельное существо. Оно чувствует себя окруженным с трех сторон и подверженным угрозе трех видов опасности, на которое оно реагирует возрастающим раздражением, когда на него чересчур насаждают... Таким образом, подстрекаемое со стороны, ограничиваемое «сверх-я» и отталкиваемое реальностью, «я» пытается справиться со своей экономической задачей сведения сил и влияний, которые действуют в нем и на него, к некоторого рода гармонии»¹.

Мы видим не одно «я», принимающее «решения» или осуществляющее «выборы»; «я» является только одной частью в структуре личности, частью, борющейся с другими частями и с внешним миром. Мы можем поставить вопросы: при каких условиях имеем мы ощущение «свободного выбора», какова функция этого ощущения в жизни человека и каково его значение для формулировки законов человеческого поведения. Проблема «свободного выбора» должна рассматриваться в этом контексте и не имеет ничего общего с физическим детерминизмом или индетерминизмом.

Если мы хотим получить хорошо сформулированное суждение о том, содействовал ли принцип неопределенности субатомной физики поддержанию доктрины «свободной воли», защищаемой традиционной религией, то мы должны заглянуть в писания признанных религиозных лидеров. Можно, например, процитировать Томаса Мертона, одного из самых влиятельных католических писателей нашего времени. Он пишет:

«Свобода состоит не в равновесии между выбором добра и зла, а в современной любви и принятии того, что есть действительное добро, и совершенном презрении и отвержении того, что есть зло, так что все, что вы делаете, есть добро и делает вас счастливым, и вы отвергаете, отрицаете и игнорируете всякую воз-

¹ S. Freud, *New Introductory Lectures*, p. 109.

можность, которая может привести к состоянию несчастья, самообмана и горя... только человек, отвергший все злое настолько полно, что становится неспособным желать его, воистину свободен... Бог, в ком абсолютно нет никакой тени или возможности зла или греха, бесконечно свободен. Действительно, он есть свобода»¹.

Когда мы читаем такие высказывания, мы ясно понимаем, что термин «свободный» употребляется здесь в таком смысле, который не имеет ничего общего с различием между ньютоновской механикой и субатомной физикой XX века. Нет никакой цепи рассуждения, которая от статистического характера физических законов вела бы к утверждению, что свобода состоит в «любви к тому, что есть действительное добро... и презрении к тому, что есть зло».

¹ T. Merton, Seeds of Contemplation.

Глава II

ПРИЧИННЫЕ ЗАКОНЫ

1. Смысл «предопределения»

«Философы всех школ воображают, будто причинность есть одна из основных аксиом науки, причем довольно странно, что в такой развитой науке, как небесная механика, слово «причина» никогда не встречается... Мне представляется, что закон причинности, как и многое другое, что имеет хождение среди философов, является пережитком прошлого, живущим, подобно монархии, только потому, что по ошибочному мнению он якобы не приносит вреда»¹.

Так пишет Бертран Рассел. Мы очень хорошо понимаем, что значит на языке нашей повседневной жизни выражение, что событие *A* есть «причина» события *B* или что *B* есть следствие события *A*. Когда боксер ударяет кулаком в нос своего противника, то «удар является причиной повреждения носа», а «повреждение — следствием удара». Всякий понимает, что значит утверждение, что «падение температуры является причиной сжатия ртути в термометре».

Если же делается попытка сформулировать это положение на языке теоретической физики, то становится ясно, что отчетливое различие между «причиной» и «действием» становится менее отчетливым.

¹ B. Russell, *Mysticism and Logic*.

Когда случается какое-либо автомобильное происшествие, мы можем сказать, что «причиной происшествия была темнота», или «небрежность шофера», или «небрежность пострадавшего пешехода», или «скользкое состояние дороги», или «слухи о грозящей войне», или «гнев богов». Не ясно, какое из этих утверждений верно. Решение обыденного здравого смысла гласит, что каждое из этих утверждений устанавливает «частичную причину». Но если число «частичных причин» становится все больше и больше, то оно в конце концов включит в себя все явления вселенной, и тогда утверждать можно только то, что причиной является нечто во вселенной. Утверждение становится тавтологией и не содержит никакой информации. Следовательно, если мы попытаемся сформулировать положение научно, то обнаружим, что дать удовлетворительную формулировку принципа причинности становится очень трудным и сложным делом.

С другой стороны, когда дело попадает в суд, например дело об автомобильном происшествии, то судья или жюри должны установить, что является «причиной» происшествия, для того чтобы решить вопрос о компенсации пострадавшего. В таких случаях делается попытка установить «ответственность» за происшествие — вводя, таким образом, в рассмотрение проблемы причинности выражение «моральное суждение». Некоторые авторы, например Ганс Кельзен, полагают даже, что само понятие «причина» возникло в языке права и морали. На самом деле даже в разговорах о неодушевленных объектах иногда употребляется выражение «ответствен»; например, за данное происшествие «ответ несет» плохая погода. Судебная процедура требует, чтобы судья или жюри установили «ответственность», или, другими словами, причину события, хотя научный анализ показывает, что понятия «причина» или «причинность» или очень сложны, или очень неопределенны. В этой главе мы будем иметь дело исключительно с ролью этих понятий в самой науке и не будем касаться ее роли в языке этики, политики или религии.

Для того чтобы понять трудности, связанные с научной формулировкой причинности, может быть, лучше всего начать с формулировки, которую очень многие философы, ученые, богословы и юристы одинаково считают адекватной. Они говорят, что если мы верим в причинность как общий закон, то будущее вселенной однозначно детерминируется ее прошедшим и настоящим. На первый взгляд, это кажется утверждением, содержащим только выражения языка нашего обыденного здравого смысла; но если мы будем стараться понять точный смысл утверждения о предопределении, то испытаем огромные затруднения. Мы убедимся, что утверждение о детерминированности будущего является тавтологическим и не дает никакой информации об эмпирическом мире. Утверждение, что будущее предопределено, кажется нам относящимся к языку обыденного здравого смысла, потому что мы благодаря нашей религиозной — иудейско-христианской — традиции привыкли к идее всемогущего разума, в котором все предопределено. Для язычников, поскольку их боги представлялись им в более человеческом виде, это предопределение имело место не в разуме богов, а в разуме стоявшего над богами рока, идея которого стала популярной благодаря вагнеровской опере «Сумерки богов».

Если наука не включает всеведущего разума в свою понятийную схему, то под утверждением, что будущее детерминировано, она может иметь в виду только то, что это будущее детерминируется законом. Если об этом законе не говорится ничего определенного, то легко видеть, что простое существование такого закона, если мы не имеем в виду существование всеведущего разума, является тавтологическим утверждением о мире, допускающем любую возможность. Бертран Рассел дал очень яркое доказательство в пользу тавтологического характера любого утверждения о детерминированности будущего. Для простоты предположим, что событие в мире состоит в движении отдельной материальной точки. Что бы ни заключалось в будущем, оно будет описано путем приписывания этой отдельной материальной точке

координат x , y , z как функции времени (t). Другими словами, будущее определяется тремя уравнениями: $x = f_1(t)$; $y = f_2(t)$; $z = f_3(t)$. Если такие функции, как $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$, существуют, то «будущее мира определено». Поскольку мир существует только один раз, постольку эти функции определяют ходом событий в мире. «Правда, — говорит Рассел, — что связанные с этим формулы могут быть почти бесконечно сложными и вследствие этого практически недоступными для записи и усвоения». Но это значит только, что мы не способны к познанию этих формул; их «существование» вытекает из утверждения, что «существует только один мир». Таким образом, материальная вселенная должна подчиняться формуле и будущее должно определяться.

· Может быть, однако, что человеческое познание окажется не в состоянии охватить эти формулы. На этом основании для истолкования «существования мировой формулы» был введен «всеведущий разум», как существо, мышление которого, несмотря на его высшие способности, может быть понято только по аналогии с мышлением человека. Чтобы показать действительное значение принципа причинности для науки, мы разработали формулировки, гораздо менее общие, чем утверждение, что «будущее детерминировано». Дело не в том, что будущее *детерминировано*, а в том, *как* оно детерминировано.

2. Лаплас. Ньютон и всеведущий разум

Мы знаем, что целью науки является установление системы таких отношений между символами и операциональными определениями этих символов, что логические заключения, выводимые из этих утверждений, становятся утверждениями о наблюдаемых фактах, подтверждаемыми чувственными наблюдениями. Мы должны поэтому поставить вопрос относительно того, каково место «причинности» в такой системе отношений и определений. Если начать исследование этого, то скоро обнаруживается, что очень трудно

найти для закона причинности его настоящее место среди принципов науки. Может быть, лучше всего начать с той науки, в которой логический анализ сделал самые большие успехи. Мы опустим геометрию, в которую не входит понятие времени и в которой трактуются только статические явления (см. гл. 3), и обратимся к законам движения в их традиционной, ньютоновской форме (см. гл. 4). В эволюции науки был весьма значительный период преуспевания, когда ученые и философы верили, что эти законы являются основными для всех явлений природы или по крайней мере основными для физической науки.

В конце XVIII века великий французский математик и астроном Лаплас высказал положение, которое, вероятно, может рассматриваться как самая четкая формулировка того, что считалось «законом причинности», используемым в науке. Лаплас писал во введении к своей книге «Опыт философии теории вероятностей»:

«Ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, одушевляющие природу, и относительное положение всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы в одной формуле движения величайших тел вселенной наравне с движениями мельчайших атомов: не осталось бы ничего, что было бы для него недостоверным, и будущее, так же как и прошедшее, предстало бы перед его взором»¹.

Легко видеть, каким образом Лаплас представлял себе действия этого разума. Он продолжал:

«Ум человеческий в совершенстве, которое он сумел придать астрономии, дает нам представление о слабом наброске того разума... Все усилия духа в поисках истины постоянно стремятся приблизить его к разуму, о котором мы только что упоминали, но от которого он останется всегда бесконечно далеким»².

¹ Лаплас, Опыт философии теории вероятностей, М., 1908, стр. 9.

² Там же, стр. 9—10.

Исходя из астрономии того времени, как она была представлена в «Системе мира» Лапласа, мы можем легко описать структуру формулы мира, созданной верховным разумом, к которому взывал Лаплас. Он представлял себе работу этого разума похожей на работу астронома, наблюдающего положение небесных тел в данный момент и вычисляющего из этих данных их положения в любое время t . Верховный разум делает больше, чем астроном, допуская произвольное число тел, произвольные начальные условия и силы, действующие между телами, которые могут не подчиняться ньютоновскому закону тяготения. Однако Лаплас допустил одно ограничение этих сил, которое со времени заката аристотелевской и подъема ньютоновской механики принималось почти как само собой разумеющееся. Он сказал: «Орбита, по которой движется отдельная молекула воздуха или пара, определяется абсолютно с той же достоверностью, что и орбиты планет. Различия между ними должны быть отнесены только к нашему незнанию».

Теперь мы опишем способ, с помощью которого астроном вычисляет будущие положения небесных тел, исходя из знания их положений и скоростей на данный момент. Мы будем называть *причинным* всякий закон, который позволит нам из информации об одной области пространства и времени вывести информацию о другой области пространства и времени. Ньютоновская механика, посредством которой вычисляются будущие положения небесных тел, безусловно, содержит причинные законы. «Принцип причинности», однако, определенно претендует на применимость в той области, в которой причинные законы действуют или могут действовать для предсказания будущего. Верховный разум Лапласа должен был бы управлять причинными законами, которые позволили бы ему сделать предсказание о будущем состоянии мира на основе знания его настоящего состояния. Те причинные законы, с помощью которых были предсказаны орбиты небесных тел, могут быть выведены из законов движения Ньютона.

В гл. 3 и 4 мы показали, что физические законы представляют собой не только отношения между символами. Такие отношения были бы аксиомами евклидовой геометрии или ньютоновскими законами движения. Чтобы вывести заключения о наблюдаемых фактах, необходимо добавлять операциональные определения символов. Следовательно, мы должны помнить, что следующие утверждения о предсказаниях относятся лишь к будущим значениям символов. Их влияние на предсказание наблюдаемых фактов зависит только от нашего выбора операциональных определений.

Возьмем N материальных точек с массами m_1, m_2, \dots, m_N . Пусть декартовы координаты материальной точки m_k суть x_k, y_k, z_k . Сила, действующая на материальную точку с массой m_k , может иметь компоненты X_k, Y_k, Z_k , которые являются заданными функциями координат $x_1, y_1, z_1, \dots, x_N, y_N, z_N$. Тогда уравнения движения имеют вид:

$$m_k \frac{d^2 x_k}{dt^2} = X_k, \quad m_k \frac{d^2 y_k}{dt^2} = Y_k, \quad m_k \frac{d^2 z_k}{dt^2} = Z_k,$$

где X_k, Y_k, Z_k — известные функции $x_1, y_1, z_1, \dots, x_N, y_N, z_N$. Если мы введем компоненты скорости

$$u_k = \frac{dx_k}{dt}, \quad v_k = \frac{dy_k}{dt}, \quad w_k = \frac{dz_k}{dt},$$

то сможем записать уравнения движения в таком виде, что их можно принять в качестве причинных законов. Мы должны помнить, что в каждый данный момент времени каждая частица имеет положение и скорость, заданные величинами $x_1, y_1, z_1, \dots, x_N, y_N, z_N, u_1, v_1, w_1, \dots, u_N, v_N, w_N$. Если эти величины заданы в определенный момент времени, то законы движения позволяют нам вычислить значения этих величин в любой прошедший или будущий момент времени t . Это ясно из того факта, что действие законов движения в действительности состоит в следующем: изменения величин $x_1, y_1, z_1, \dots, x_N, y_N, z_N, u_1, v_1, w_1, \dots$

... u_N, v_N, w_N задаются функциями самих этих величин:

$$m_k \frac{du_k}{dt} = X_k(x_1 \dots w_N) \quad m_k \frac{dv_k}{dt} = Y_k(x_1 \dots w_N)$$

$$m_k \frac{dw_k}{dt} = Z_k(x_1 \dots w_N)$$

$$\frac{dx_k}{dt} = u_k \quad \frac{dy_k}{dt} = v_k \quad \frac{dz_k}{dt} = w_k.$$

Чтобы проще записать систему этих уравнений движения, мы можем ввести новые обозначения для компонент координат всех частиц во всех направлениях x_1, x_2, \dots, x_n ($n = 3N$) и соответствующих компонент скорости u_1, u_2, \dots, u_n . Тогда уравнения движения примут следующий вид:

$$m_k \frac{du_k}{dt} = X_k(x_1, \dots, u_n), \quad \frac{dx_k}{dt} = u_k \quad (k = 1, 2, \dots, 3N).$$

Это специальный случай более общего типа системы. Если мы назовем $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$ динамическими переменными, описывающими состояние нашей механической системы, и обозначим их все одним и тем же символом с соответствующими индексами: $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{3N}$, то уравнения движения будут иметь вид $\frac{d\xi_k}{dt} = F_k(\xi_1, \xi_2, \dots)$ $k = 1, 2, 3N$. Это значит, что если «состояние системы» описывается с помощью $3N = n$ динамических переменных, то скорости изменения этих переменных $\frac{d\xi_k}{dt}$ задаются функциями F_k значений в данный момент времени (начальных значений).

Математическая теория дифференциальных уравнений дает методы «интегрирования» системы вида: $\frac{d\xi_k}{dt} = F(\xi_1, \xi_2, \dots)$, ($k = 1, 2, \dots, n$). Это значит, что если даны значения динамических переменных для одного момента времени (например, для $t = 0$), то можно найти значения ξ_1, \dots, ξ_N в любое время t , если, конечно, известны сами дифференциальные уравнения (другими словами, функции F_k). Дифференциальные уравнения являются инструментом,

который позволяет вычислять значения динамических переменных для любых моментов времени t , если даны их значения для одного момента $t = 0$. Мы можем назвать это предсказанием, потому что в этом случае вычисляются значения величин для будущих моментов времени, исходя из их значений в настоящий момент. Но необходимо помнить, что с таким же успехом мы можем вычислить значение динамических переменных для $t < 0$, то есть для прошедшего времени.

3. Математическая форма причинного закона

Мы знаем, что ньютоновские законы движения допускают предсказание будущего, основанное на знании настоящего, потому что эти законы имеют форму:

$$\frac{d\xi_k}{dt} = F_k(\xi_1, \xi_2, \dots) \quad (k = 1, 2, \dots, n).$$

Согласно математической теории дифференциальных уравнений, если значения динамических переменных известны для настоящего момента времени $t = 0$, то можно предсказать их значения для любого прошедшего или будущего времени t . Все законы такого типа называются причинными законами. Общий принцип причинности требовал бы, чтобы все явления подчинялись причинным законам, имеющим форму $\frac{d\xi_k}{dt} = F_k(\xi_1, \dots, \xi_N)$, где ξ_1, \dots, ξ_N — любые переменные, определяющие состояние физической системы во время t .

Отложим пока рассмотрение общего принципа причинности, подчеркнув при этом только то, что вера в этот общий принцип опирается на применимость его для конкретных астрономических систем, для которых ξ_k — суть координаты и скорости материальных точек, а функции F_k заданы простыми математическими формулами, выведенными из ньютоновских законов тяготения. К тому же во всех применениях, которые действительно могут быть осуществлены, число n является малым; другими словами, начальные условия для настоящего времени $t = 0$ дается в простом виде.

Исходя из этих простых допущений с помощью обычных средств математического анализа, можно вычислить бесконечно большое многообразие возможных действительных орбит небесных тел. Причиной успеха была простота законов по сравнению со сложностью наблюдаемых фактов.

Однако если мы будем рассматривать F_k как произвольные функции ξ_k и формулировать сложные начальные условия, то причинный закон $\frac{d\xi_k}{dt} = F_k(\xi_1, \dots, \xi_N)$ может выполняться, но не будет гарантировать такого же успеха. Может случиться, что закон будет столь же сложным, как и наблюдаемые факты. Тогда нет никакого преимущества в замене непосредственного описания наблюдения другим «не непосредственным» описанием, называемым законом, которое ни в каком случае не является более простым, чем непосредственное описание.

Наша задача теперь состоит в том, чтобы исследовать роль общего закона причинности, когда мы больше не имеем дела со специальным случаем астрономии, но допускаем, что F_k и начальные условия как угодно сложны. Чтобы преодолеть это затруднение, Лаплас ввел свой верховный разум, для которого, как предполагалось, общий случай ввиду его все преодолевающих способностей так же прост, как и обычная астрономия для людей. Принцип причинности говорит в этом случае, что существует верховный разум, который знает все начальные значения динамических переменных, знает все функции F_k и является таким совершенным математиком, что может путем решения дифференциальных уравнений предсказать все будущие значения динамических переменных состояния.

Мы не должны забывать, что верховный разум был введен Лапласом в формулировку причинности. Он, конечно, не думал, что этот разум играл существенную роль в формулировке причинности. Существует известный анекдот о том, как Лаплас преподнес императору Наполеону экземпляр своей «Системы мира». Наполеон спросил его, какое место в его системе занимает бог. Лаплас ответил: «Ваше величество,

я не нуждался в этой гипотезе». Интересно отметить, что Лаплас, не нуждавшийся в гипотезе бога в своей книге по астрономии, нуждался в верховном разуме в своей формулировке принципа причинности. Он думал, конечно, что это только удобный способ выразиться и что этот верховный разум можно устранить, а принцип причинности можно сформулировать, ссылаясь только на человеческие способности.

Это, однако, не так просто, как кажется. Мы должны сказать: *существуют* функции F_k , зависящие от переменных ξ_1, \dots, ξ_k , которые обладают тем свойством, что $\frac{d\xi_k}{dt} = F_k$, что и позволяет нам предсказывать

значения в будущем, исходя из значений ξ_1, \dots, ξ_N в настоящее время. Но если мы не знаем конкретно, каковы эти функции, то самое существование таких функций означает только, что значения ξ_k в будущем как-то «определяются» начальными значениями, или, другими словами, производные ξ_k по времени $\frac{d\xi_k}{dt}$ опре-

деляются самими ξ_k . Если мы не вводим верховный разум, который «знает» функции F_k или ясно представляет формулу для F_k , то слово «определяется» может значить только, что мы допускаем некоторое свойство F_k , которое ограничивает их возможный выбор. Это похоже на то, что мы узнали в гл. 4 («Законы движения»), а именно что законы Ньютона становятся практически полезными только тогда, когда мы добавим предположение, что «силы» суть «простые» функции координат. Если мы интерпретируем, как делаем в этом параграфе, механику Ньютона как систему причинных законов, то это значит, что F_k суть простые функции ряда ξ_1, \dots, ξ_N . Если мы допустим произвольно сложные функции $F_k(\xi_1, \dots, \xi_N)$, то простое утверждение «существования» было бы не утверждением о фактах, а тавтологическим утверждением, которое нельзя было бы опровергнуть никаким экспериментом.

И в том и в другом случае мы всегда можем рассматривать значения ξ_k в будущие моменты времени как функции t и начальных значений: если мы припи-

шем значениям t какие-либо произвольные значения ξ_k , то зависимость всегда может быть описана с помощью формулы. Приписывая причинному закону действительную возможность предсказания будущего, необходимо ввести в рассмотрение неопределенное качество «простоты», которое, конечно, зависит от психологического и социологического статуса ученого в определенный период. «Простая» формула обозначает в этом контексте «рабочую» формулу. Поскольку «предсказание будущего обычными людьми» является деятельностью, целиком находящейся в пределах человеческой деятельности, постольку критерий «простоты» может быть применен к причинному закону, хотя он и зависит от психологических и социологических соображений относительно того, является ли определенный закон «простым».

4. Определяющие и неопределяющие переменные

Если даже допустить, что аналитическая форма функции $F_k(\xi_1, \dots, \xi_N)$ и начальные условия просты, мы все же не можем быть уверены, что принцип причинности будет положением, касающимся наблюдаемых фактов. Если мы, однако, допустим, что имеются операциональные определения, которые позволяют нам приписывать числовые значения динамическим переменным ξ_1, \dots, ξ_N посредством операции измерения, то этот принцип гласит, что все наблюдаемые факты управляются причинными законами, которые позволяют нам предсказывать доступные измерению значения ξ_1, \dots, ξ_N , исходя из их измеренных значений в настоящее время. Мы здесь не задаемся целью определить операции, с помощью которых мы приписываем эти значения. Можно ли в таком случае подвергнуть проверке принцип причинности? Это можно было бы сделать только в том случае, если бы мы могли представить себе мир, в котором принцип причинности был бы неверен. В таком мире мы не могли бы предсказывать движения

планет с помощью закона, который по простоте был бы сравним с ньютонскими законами; но мы не могли бы, конечно, никаким экспериментом доказать, что невозможно найти такой причинный закон. Поиски принципов причинности в такой форме могли бы быть оставлены только при осознании, что успех не может быть достигнут, если исходить из этого допущения.

Есть, однако, одно заключение, которое может быть выведено из принципа причинности, которое не зависит от специальной формы функций F_k и может быть проверено с помощью эксперимента. Какова бы ни была специальная форма F_k , достоверно одно: изменения переменных во времени $\frac{d\xi_k}{dt}$ зависят только от значений ξ_1, \dots, ξ_N в настоящий момент. Каким бы образом эти переменные ни приняли снова свои начальные значения, изменения во времени их также снова пробегают ряд тех же значений. Другими словами, если состояние системы повторяется, то все последующие состояния также повторяются. Если мы назовем систему значений ξ_k «состоянием A » нашей системы, то можем сказать: если за состоянием A нашей системы следует состояние B , то всякий раз, когда имеет место A , то имеет место B . Эта формулировка принципа причинности не пользуется выражениями, вроде «простая формула». Мы должны помнить, что выражение система «имеет состояние A » или «состояние B » значит лишь то, что ξ_k имеет определенные числовые значения. Утверждение « A имеет место» или « B имеет место» относится только к числовым значениям динамических переменных, а не к наблюдаемым фактам.

Какую же процедуру должны мы избрать для того, чтобы наблюдением опровергнуть утверждение, что «если A имеет место, то B тоже имеет место»? Мы должны в этом случае наблюдать действительное возвращение состояния A и обнаружить наблюдением при этом, что B не возвращается вторично, хотя оно и следовало за A , когда A имело место первый раз. Мы должны считать само собой разумеющимся, что мы знаем процедуру измерения, посредством которой

мы можем приписывать числовые значения ξ_k . Если считать, что принцип причинности справедлив, то под «состоянием A » или «состоянием B » мы должны понимать состояния всей вселенной. Это значит, что состояние ее определено, если координаты и скорости всех тел в мире имеют определенные числовые значения. Поскольку число этих тел огромно, порядка миллиардов и миллиардов, постольку выражение «возвращение состояния A » значит, что миллиарды и миллиарды переменных должны принять свои начальные значения. Такое событие не может, конечно, быть проверено каким-либо наблюдением. Это значит, что правильность принципа причинности на самом деле не может быть проверена возвращением состояния A . Чтобы сделать его проверку возможной, мы не должны требовать больше того, чтобы приблизительное возвращение A влекло за собой приблизительное же возвращение B .

Мы можем привести принцип причинности в «испытательную» форму, сформулировав его содержание следующим образом: как «состояние A » мы определяем состояние мира, в котором определенная группа ξ_k является определяющим состоянием системы переменными, а все другие ξ_k не имеют отношения к определению состояния системы. В этом случае принцип причинности гласил бы, что если B следует за A один раз, то возвращение A влекло бы за собой и возвращение B , каковы бы ни были начальные значения переменных «не относящихся к определению состояния системы» ξ_k . Ясно, что этот принцип нельзя опровергнуть экспериментом. Если мы видим, что в каком-то случае B не следует за A , то это доказывает только, что наблюдаемое возвращение A не есть «действительное возвращение». Мы можем наблюдать только, что некое число, скажем n , переменных ξ_k принимает свои начальные значения; некоторые другие «неопределяющие» переменные могут и не принимать первоначальных значений. Это опровергало бы принцип причинности только в том случае, если бы мы точно знали, какие переменные являются определяющими. Но одинаково возможно и то, что, кроме

переменных, о которых мы знаем, что они определяют состояние системы, существуют еще и другие, которые тоже должны принимать их начальные значения для того, чтобы было достоверно, что *B* последует. Теоретически в каждом случае, в котором состояние *B* не следует за *A*, мы всегда можем допустить, что совершена ошибка принятием как само собой разумеющегося всех других переменных, которые принимают свои первоначальные значения, за неопределяющие.

В действительности мы можем утверждать только, что практически в очень большом числе случаев можно выделить лишь относительно небольшое число «определяющих» переменных. В таком случае принцип причинности гласит, что в каждой ситуации, имеющей место в физическом мире, мы можем ввести небольшое число «определяющих» переменных, обладающих следующими свойствами: возвращение «малого» числа переменных к их начальным значениям говорило бы о том, что «состояние *A*» вернулось. Это опять-таки значило бы, что «состояние *B*» также вернется. «Принцип причинности», конечно, может быть подтвержден опытом или наблюдением. Данное подтверждение до некоторой степени неопределенно, потому что неопределенно высказывание, что возвращение «небольшого числа переменных» к их первоначальным значениям *A* достаточно, чтобы повлечь за собой и возвращение состояния *B*.

5. Причинные законы в теории поля

До сих пор мы совершенно не касались вопроса об отношении представлений о ньютоновских материальных точечных массах к явлениям, которые действительно наблюдаются. Для Ньютона и его непосредственных последователей это отношение было очень простым, не требовавшим большого обсуждения. Однако при применении механики к действительным техническим проблемам мы рассматриваем твердое или жидкое тело не как систему точечных масс.

а как непрерывную среду. Мы характеризуем, например, состояние жидкости не путем описания положений и скоростей ее частиц, а путем рассмотрения ее как непрерывной среды и описания каждой точки этой среды с помощью ее координат x, y, z . «Состояние движения жидкости» в таком случае описывается скоростями всех масс в каждый данный момент времени. Масса, расположенная в точке x, y, z во время t , может иметь три компонента скорости u, v, w . Состояние движения жидкости в определенный момент времени t известно, если мы знаем u, v, w как функции x, y, z и времени t . Если мы знаем функции $u(t, x, y, z), v(t, x, y, z), w(t, x, y, z)$, то мы знаем состояние движения нашей жидкости в настоящем ($t = 0$), будущем ($t > 0$) и прошедшем ($t < 0$).

Причинный закон позволил бы нам вычислить «динамические переменные u, v, w » для всех будущих моментов времени, если они даны для настоящего момента времени $t = 0$. Если же мы, как обычно, обозначим производные по времени u, v, w через $\frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}$, тогда причинный закон даст эти производные как функции настоящих значений u, v, w и производных по координатам $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \dots, \frac{\partial w}{\partial z}, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}, \dots$

Причинный закон имеет поэтому форму $\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v, w, \frac{\partial u}{\partial x}, \dots, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \dots)$ плюс аналогичные уравнения для $\frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial w}{\partial t}$. Форма функции F зависит от сцепления между частями нашей жидкости или твердого тела. Принцип причинности означает в таком случае, что все движения твердых или жидких тел подчиняются законам формы $\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v, \dots)$, где функции F зависят от природы тела, вязкости жидкости, хрупкости или эластичности твердого тела.

В таком случае, очевидно, мы никогда не сможем указать доступного наблюдению явления, которое

могло бы опровергнуть закон причинности, ибо никогда нельзя утверждать, что нет никакой функции, которую можно было бы использовать для описания явлений, происходящих в жидком или твердом теле. Кроме того, подтверждение принципа причинности основывается на том, что из опыта для очень многих тел можно указать функции F и правильно предсказать значения u , v , w в будущие моменты времени, если известны их значения в настоящее время. Существование таких функций и есть действительное физическое выражение принципа причинности. Другими словами, этот принцип выражает веру, или по крайней мере надежду, что для каждого типа тела, жидкого или твердого, пластичного или эластичного, такая функция может быть найдена. Такой принцип имел бы силу для всех физических явлений, если бы мы придерживались мнения, что все физические явления могут быть сведены к законам традиционной механики. Мы знаем, однако, что принцип причинности может также распространяться и на гораздо более общие физические гипотезы.

В последней четверти XIX века все большее и большее признание получало мнение, что явления электромагнетизма не могут сводиться к явлениям ньютоновской механики, а должны выводиться из особой системы постулатов, в число которых входят и ньютоновские законы как частный случай. «Состояние системы» в электродинамике описывается не помощью скорости в определенной точке x , y , z в момент времени t , а с помощью напряженностей электрического и магнитного поля в точке x , y , z и в момент времени t . Причинный закон в теории электромагнитного поля является поэтому уравнением, позволяющим, исходя из распределения напряженностей поля в настоящий момент времени, вычислить значения напряженностей поля в будущие моменты времени. С математической точки зрения причинные законы выглядят совершенно так же, как и законы механики, за исключением того, что скорости u , v , w заменяются напряженностями поля. Эта теория электромагнитного поля была обобщена в «общую теорию поля».

Мы можем предположить, что, кроме электромагнитного поля, существуют и другие поля, вроде гравитационного поля или ядерного поля. Если посредством $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$ мы обозначим компоненты всех этих полей, то причинный закон будет иметь форму:

$$\frac{\partial u_k}{\partial t} = F_k \left(u_1, u_2, \dots, u_n, \frac{\partial u_1}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial u_n}{\partial x_n}, \frac{\partial^2 u_1}{\partial x_1^2}, \dots \right) \\ (k = 1, 2, \dots, n).$$

Принцип причинности требовал бы в таком случае, чтобы все явления описывались с помощью уравнений такого типа. Тогда, если величины u_1, \dots, u_n даны для настоящего времени $t = 0$ в каждой точке x, y, z , мы можем, исходя из этих уравнений, вычислить их будущие значения.

Принцип причинности в физической теории поля является, очевидно, гораздо более неопределенным, чем в механистической физике, где все явления рассматриваются как выводимые из ньютоновских законов движения. Не только функции F_k являются столь же неопределенными, как неопределенны были силы в ньютоновской физике, но и сами динамические переменные u_n оказываются неопределенными, в то время как в ньютоновской физике все динамические переменные имеют определенный смысл положений и скоростей. Следовательно, все трудности, испытываемые в ньютоновской физике при формулировании общего принципа причинности, остаются в силе и в физике поля. Утверждение, что состояние в будущий момент времени определяется состоянием в настоящий момент времени, имеет какой-то осязаемый смысл только в том случае, если мы или вводим всеведущий разум, или даем особые уравнения, посредством которых определяются производные по времени динамические переменные, то есть функции F_k .

Принцип причинности в физике поля, очевидно, имеет меньшее фактическое содержание, чем в ньютоновской физике. В последнем случае можно было бы сказать: если все положения и скорости масс

снова принимают в $t = t_1$ значения, которые они имели в $t = t_0$, то после t_1 они примут те же значения, как и после t_0 . В случае физики поля, однако, смысл утверждения, что все динамические переменные u_1, u_2, \dots снова принимают их начальные значения, за исключением того случая, когда мы действительно можем перечислить все динамические переменные, оказывается неопределенным; другими словами, принцип причинности говорит только, что если за состоянием A однажды последует состояние B , то во всех случаях, когда имеет место состояние A , будет иметь место и состояние B . Это положение, однако, является явно тавтологическим. Мы можем установить, что состояние A вернулось только в том случае, если за ним снова последовало состояние B . Чтобы придать принципу причинности фактическое значение, мы должны допустить по крайней мере, что всякий раз, когда небольшое число динамических переменных принимает их начальные значения, «состояние A » возвращается, за ним возвратится «состояние B ». Чем больше число динамических переменных u_1, u_2, \dots , тем меньше фактическое содержание принципа причинности. Если это число очень велико, то мы никогда не сможем узнать, когда состояние A действительно вернулось; мы всегда можем предположить, что все же осталась переменная, которую мы просмотрели и которая не приняла снова своего начального значения. Тогда мы не можем ожидать, что и B снова последует; так мы не можем быть убеждены, что A действительно вернулось. Именно так и получается, когда число динамических переменных становится бесконечным. Тогда принцип причинности становится тавтологичным; он вообще не будет положением, относящимся к физической реальности.

Если мы хотим избежать превращения общего принципа причинности в тавтологию, то мы должны сформулировать его следующим образом: если ввести небольшое число динамических переменных, то можно быть уверенным, что при возвращении этого небольшого числа переменных к их первоначальным значениям последует и возвращение состояния B , которое

следовало в первый раз. На обычном языке физики это значит, что существует только несколько сил, определяющих изменения состояний: тяготение, электромагнетизм и т. д. Если бы мы не были уверены, что число этих сил мало, мы никогда не могли бы быть уверены, что «состояние A » может вернуться, ибо, если бы все известные нам силы имели одни и те же значения, всегда могла бы быть иная, неизвестная сила, которая сделала бы новое состояние отличным от начального. Тогда нельзя было бы ждать возвращения B . Чтобы избежать превращения принципа причинности в тавтологию, мы должны ввести термины, не имеющие определенного значения, вроде «небольшое число динамических переменных» и «простые законы сил F_k ». Приходится делать выбор: либо сделать принцип причинности точным и тавтологическим, либо сделать его неопределенным и фактическим.

6. «Бреши» в причинных законах

При рассмотрении причинных законов с философской и религиозной точек зрения очень большое внимание было уделено возможным «брешам» в причинных цепях. Детерминируется ли будущее движение системы каждым «состоянием A » или же существуют некоторые, возможно исключительные, состояния, которые однозначно не детерминируют будущие состояния B ? Если начать с классической формулировки Ньютона: «произведение массы на приращение скорости в единицу времени равно силе», то это приращение, конечно, определяется всегда, когда «сила» определена. Если под «силой» понимать просто ньютоновское притяжение между материальными точками, то оно обратно пропорционально квадрату расстояния ($1/r^2$), и становится бесконечно большой, когда расстояние бесконечно мало ($r = 0$), т. е. материальные точки математически совпадают. Это значит, что будущее становится неопределенным, когда настоящее состояние является особой точкой в дифференциальном уравнении движения. Из математической теории дифференциальных уравнений мы

знаем, что решение не является однозначным, если даны значения координат в особой точке, так как из нее решение может быть продолжено по-разному. Это становится еще более очевидным, если мы применим эти соображения к миру атомов и молекул. Механическая теория тепла всегда рассматривает газы как огромное число сталкивающихся молекул. При каждом столкновении имеется особая точка, и будущее движение не всегда определяется при столкновении молекул, например при центральном столкновении двух одинаковых молекул, двигающихся с равными скоростями. После столкновения движения молекул могут быть весьма различны при одном и том же движении молекул до столкновения.

До сих пор мы говорили о причинных законах только как об утверждениях относительно математических дедукций из уравнения движения. «Состояние системы» определялось серией значений, приписываемых динамическим переменным, например координатам и скоростям материальных точек. Под «значениями» мы имели в виду приписываемые переменным «действительные числа» в математическом смысле. Однако ситуация изменяется, когда мы ставим вопрос: можно ли предсказать будущие наблюдения, исходя из настоящего наблюдаемого состояния системы или всего мира? Результатом измерения никогда не бывает точное число в математическом смысле, а всегда — лежащие в определенном интервале. Например, с помощью наблюдаемого измерения нельзя установить, каким числом будет выражаться длина некоего тела — рациональным или иррациональным. Следовательно, первоначальное состояние A системы дается не числами, приписываемыми динамическими переменными $u_1 \dots u_n$, а интервалами, в которые эти числа заключены. Одному и тому же наблюдаемому состоянию может соответствовать очень много «математических состояний» системы $A_1, A_2 \dots$. Все эти состояния $A_1, A_2 \dots$ очень близки друг к другу, и можно выбрать некое среднее значение A как приближенное значение всех состояний $A_1, A_2 \dots$.

Если за наблюдаемым значением A следует другое наблюдаемое значение B , то можно ли на основании наших математических причинных законов быть уверенным, что возвращение A будет сопровождаться и возвращением B . Говоря точнее, можем ли мы, исходя из математических причинных законов, заключить, что аналогичный причинный закон будет также выполняться и для наблюдаемых состояний системы? Очевидно, не можем. Исходя из математического причинного закона, можно заключить, что спустя некоторое время t состояние A_1 становится состоянием B_1 , A_2 состояние становится B_2 , A_3 становится B_3 и т. д. Если состояния $B_1, B_2, B_3 \dots$ настолько близки друг другу, что соответствуют одному и тому же наблюдаемому состоянию, то можно, конечно, заключить, что когда наблюдаемое состояние A возвращается, то возвратится также и наблюдаемое состояние B , т. е. мы будем иметь причинный закон для наблюдаемых явлений. Если же состояния B_1, B_2 не близки друг другу, то нельзя предсказать, что наблюдаемое состояние A будет всегда сопровождаться наблюдаемым состоянием B . Выражение «наблюдаемое состояние A возвращается» в одних случаях может значить, что возвращается A_1 , а в других случаях, что возвращается A_2 . В одном случае за ним может следовать B_1 , а в другом — B_2 . Однако и B_1 и B_2 могут быть очень далеки друг от друга и не соответствовать одному и тому же наблюдаемому состоянию.

Отсюда видно, что справедливость причинного закона для наблюдаемых состояний основывается на одном допущении относительно математического закона, а именно: если два состояния A_1 и A_2 системы в настоящий момент ($t = 0$) очень близки друг другу, то состояния B_1 и B_2 , достигнутые системой в следующий момент ($t = T$), будут также очень близки друг другу, каково бы ни было значение T . Другими словами, небольшое изменение в начальном состоянии ($t = 0$) не может переходить в большое изменение в конечном состоянии ($t = T$). Техническим выражением в механике для этого является выражение, что

движение, начинающееся в A , должно быть «устойчивым» (stable). Следовательно, математический причинный закон ведет к причинному закону для наблюдаемых явлений только в том случае, если решения математических уравнений являются «устойчивыми».

Мы легко можем привести примеры состояний A , ведущих к решениям, которые не являются устойчивыми и не ведут к причинным законам для наблюдаемых явлений. Возьмем горный кряж и ради простоты предположим, что этот кряж — горизонтальная прямая линия. Математическое решение уравнения движения может быть найдено для начального условия, согласно которому материальная точка находится на кряже и имеет начальную скорость c ; действующая сила может быть силой тяжести. Начальное состояние A_1 математически может быть описано приданием материальной точке скорости в горизонтальном направлении. Начальные состояния $A_1, A_2 \dots$ могут быть заданы скоростями с тем же численным значением c , но несколько отличающимися по направлениям скоростями. Спустя некоторое время T состояние A_1 перейдет в состояние B_1 ; материальная точка будет тогда находиться на горизонтальном кряже на расстоянии cT от ее начального положения. Состояние A_2 , однако, перейдет в состояние B_2 , очень далекое от B_1 , так как скорость отличается от горизонтальной, материальная точка будет падать вдоль линии гор и достигнет глубины $1/2gT^2$ ниже положения B_1 на кряже. Если мы не знаем, соответствует ли наше наблюдаемое начальное состояние A математическому состоянию A_1 или A_2 , то мы не сможем предсказать, будет ли материальная точка спустя время T на кряже или на расстоянии $1/2gT$ ниже, где g — ускорение тяжести. Поскольку малейшее отклонение от горизонтального направления скорости производит движение по направлению вниз и поскольку невозможно никакое наблюдение, с помощью которого мы не можем отличить A_1 от A_2 , постольку мы, наблюдая нашу материальную точку в $t = 0$, не можем предсказать, будет ли она спустя время T на кряже B_1 или на

расстоянии $1/2gT^2$ ниже края. Следовательно, будущее состояние не может быть предсказано, исходя только из наблюдения настоящего состояния.

Движение материальной точки вдоль края — «неустойчивое движение». Наблюдение начального состояния не может привести к предсказанию того, как материальная точка будет двигаться. Здесь имеет случай, когда одно только наблюдение начального состояния не дает нам возможности предсказать последующее состояние; наблюдаемые факты не подчиняются причинному закону. Такая ситуация возникает также, например, в газообразном теле. Если мы предположим, что молекулы суть материальные точки, притягивающиеся и отталкивающиеся согласно ньютоновским законам движения, то каждое столкновение является неустойчивым состоянием движения. Если бы мы могли наблюдать состояния этих молекул, то нашли бы, что очень многие из них близки к неустойчивым движениям и что будущее так же недоступно предсказанию, как и будущее материальной точки, движущейся вдоль края.

Из этого рассмотрения можно сделать вывод, что имеются глубокие и широкие «бреши» в применении причинных законов к механическим системам. Даже если мы допустим непреложную справедливость ньютоновской механики для всех физических явлений, то и тогда мы все-таки не сможем заключить, что будущее состояние может быть однозначно определено, исходя из произвольного начального состояния, которое мы наблюдаем. Если мы учтем эти соображения, станет даже еще менее правдоподобным, что лапласовский всеведущий разум может быть заменен человеческим разумом. Идея всеобщего предопределения, по-видимому, связана с существованием «сверхчеловеческого или сверхъестественного» существа. С научной точки зрения, как говорилось выше, предопределение будущего является тавтологическим понятием или же предполагает существование причинных законов, связывающих немногочисленные переменные простыми отношениями.

Глава 12
ПРИНЦИП ПРИЧИННОСТИ

1. Как формулировать общий принцип причинности?

Причинность у Юма и Канта. До сих пор мы пытались сформулировать принцип причинности, исходя из специальной теории, какой является ньютоновская теория тяготения или теория поля. Но следует помнить, что этот принцип должен иметь применение не только в физике, но и в каждой отрасли знания — в биологии, психологии, в общественных науках, в естествознании. Только в этом случае мы можем говорить об «общем принципе причинности». Снова и снова поднимался вопрос, так же ли действителен принцип причинности в биологии и социологии, как он действителен в физике и химии, но самый этот вопрос не имеет смысла, если мы не знаем, как сформулировать этот принцип таким образом, чтобы он был применен во всех этих различных областях. Если мы воспользуемся той формулировкой, которой мы пользовались в механике и в теории поля, то можем в предварительном порядке сказать: состоянием A_0 мира в момент времени t_0 однозначно определяется состояние A_1 в каждый последующий момент t_1 . Мы уже знаем те затруднения, которые включает в себя термин «определяется», поэтому его можно интерпретировать двумя способами. С одной стороны, мы можем сказать: всякий раз, когда мир находится

в состоянии A_0 , спустя некоторое время $(t_1 - t_0)$ он будет находиться в состоянии A_1 . С другой стороны, мы можем также сказать: «Существует закон, который позволяет нам, исходя из каждого состояния A_0 в момент времени t_0 , вычислить состояние A_1 в момент времени t_1 , если $t_1 > t_0$ ».

Мы уже знаем, что даже в специальных случаях, разобранных в предыдущей главе, не легко провести различие между определением закона и возвращением состояния. Эти затруднения, конечно, оказываются гораздо более серьезными, когда мы подходим к общему случаю, где законы перестают быть известными законами механики или физики поля. Чрезвычайно трудно становится определить «возвращение того же самого состояния», не пользуясь при этом понятием причинности. Но когда мы это делаем, принцип причинности становится тавтологией. Мы можем определить «одинаковые состояния» как такие состояния A_0 , которые «имеют одни и те же следствия A_1 ». Из этого, очевидно, следует, что если состояние A_0 возвращается, то возвращаются также и последующие состояния A_1 . Это утверждение, однако, является определением только термина «одинаковые состояния» и не дает никакой информации о физическом мире.

Если даже допустить возможность разрешения этого затруднения и дать такое определение «одинаковых состояний», в котором не используется понятие причинности, то все же остается другое затруднение, возможно, еще более серьезное. Эта высшая трудность возникает в связи с тем, что динамические переменные, имеющие место в употребляемых в науке причинных законах, не могут быть однозначно соотнесены с действительными наблюдениями людей; но без этого однозначного соотношения причинные законы содержали бы только символические количества, они были бы определениями этих терминов. Мы узнали, например, из гл. 3-й, что аксиомы геометрии служат определениями терминов «прямая линия», «пересечение» и т. д., которые встречаются в аксиомах Евклида, или, говоря точнее, в геометрии

Гильберта. Профан в науке, а во многих случаях даже и ученый может не обратить внимание на различие между символами и наблюдаемыми количествами, которые находятся друг к другу в отношении взаимного соответствия посредством «операциональных определений», или «физических интерпретаций», или, говоря более общо, посредством «семантических правил».

Затруднение в таком взаимном соответствии существовало с самого начала физики как науки. Оно состоит в том, что величины, получающиеся в результате физических экспериментов и наблюдений, всегда являются средними величинами очень многих действительных наблюдений, в то время как величины, приписываемые символам, — это чисто математические количества. Они могут, например, быть иррациональными числами, которые никогда не будут результатом наблюдения. Это затруднение существовало в механике жидкостей, где нельзя наблюдать никакой «скорости» материальной точки, хотя эти скорости тем не менее входят в уравнение гидродинамики. Точно так же никогда не может наблюдаться напряженность электрического поля в электроне. Если говорить точно, то даже в формулировке ньютоновских законов «скорость материальной точки» является только символом. Чтобы поставить его во взаимное соответствие с наблюдением, мы должны помнить, что «скорость в определенный момент времени» есть первая производная пути по времени и вычисляется как предел большого множества наблюдений.

Если мы попытаемся сформулировать принцип причинности как утверждение о наблюдаемых фактах, то перед нами, очевидно, встанет очень сложная и трудная задача. Теперь уже вполне ясно, что утверждения, вроде «будущее определяется настоящим», или проще, «будущее предопределено», не могут быть проведены экспериментом и наблюдением. В конкретных случаях, где мы допускали, что «состояния» мира могут описываться или посредством указания положений и скоростей частиц, или посред-

ством величин, характеризующих поле, мы показали два способа формулировки общего принципа причинности без превращения его в тавтологию. Мы можем или потребовать, чтобы за одинаковыми состояниями следовали одинаковые же состояния, или постулировать, что все явления происходят в соответствии с законом. Чтобы иметь краткое обозначение для этих двух видов формулировки, мы последуем предложению Маргенау. Он пользуется способом, с помощью которого двое из «отцов» современной философии нового времени сформулировали принцип причинности в XVIII веке. Давид Юм определял причинность как повторение следствий; когда возвращается А, возвращается АВ. С другой стороны, Иммануил Кант определил причинность как существование законов, согласно которым состояния следуют одно за другим. В соответствии с этим Маргенау проводит различие между юмовской и кантовской причинностью.

Юм пишет:

«Единственная непосредственная польза наук состоит в том, что они обучают нас управлять будущими явлениями и регулировать их с помощью их причин... Сходные объекты всегда соединяются со сходными — это мы знаем по опыту; сообразуясь с последним, мы можем определить причину как объект, за которым следует другой объект, причем все объекты, сходные с первым, всегда сопровождаются объектами, сходными со вторым, или, другими словами, если бы не было первого объекта, то никогда не существовало бы второго. Появление причины всегда заставляет ум переходить по привычке к идее действия: это мы тоже знаем по опыту, стало быть, сообразуясь с последними, мы можем составить себе другое определение причины и назвать ее объектом, который сопровождается другим объектом и появление которого всегда переносит мысль к этому последнему»¹.

¹ Д. Юм, Исследование человеческого разума, СПб, 1902, стр. 85, 86.

С точки зрения Юма, принцип причинности рассматривается как средство для практических целей. Он имеет дело с непосредственно наблюдаемыми фактами. Принцип причинности говорит нам, что всегда имеется соответствующая причина, с помощью которой мы можем произвести желаемое следствие.

Если вместо следствий наблюдаемых состояний мы вводим системы значений A и B динамических переменных, то мы признаем как само собой разумеющееся, что существует простое операциональное определение, которое приписывает наблюдаемым фактам значения динамических переменных. Юмовская формулировка причинности, повторение следствий AB , может быть правильно понята только в том случае, если мы под A будем иметь в виду серию наблюдений, сделанных в определенный момент времени t_0 , а под B — серию наблюдений, сделанных во время t_1 . В понятии состояния A нет ничего, что относилось бы к наблюдениям, которые имеют место в более поздний или в более ранний момент по сравнению с t_0 . Однако, как мы неоднократно видели, причинные законы, фактически применяемые в физике или в других науках, определяют состояние A таким образом, что используются наблюдения, имеющие место в течение некоторого промежутка времени. Очевидно, например, что операциональное определение «скорости в t_0 » требует наблюдений положений в течение некоторого промежутка времени.

Строго говоря, состояние A может быть определено только через действие, которое «тело в состоянии A » оказывает на другие тела, то есть на наши измерительные инструменты. Иммануил Кант утверждал поэтому, что закон причинности играет роль в определении состояния A или B системы. В то время как Юм утверждал, что следствия произвольно определяемых состояний AB повторяются, Кант подчеркивал существование общих правил. Мы можем выбирать такие определения состояния A или B , чтобы они следовали друг за другом согласно этим общим правилам. Мы цитируем характерный отрывок, в котором Кант говорит:

«Мы можем изучать а priori природу вещей не иначе, как исследуя общие (хотя и субъективные) законы, обуславливающие возможность такого познания как опыта»¹. Эмпирические суждения никогда не могут считаться опытом без закона: когда бы явление ни наблюдалось, оно всегда относится к некоему antecedенту, за которым оно следует согласно всеобщему правилу.

Эта формулировка имеет определенный метафизический оттенок. Однако под кантовской причинностью, как ее интерпретирует Маргенау, мы будем здесь понимать понятие, которое является столь же научным, как и юмовская причинность. Последняя подчеркивает, что состояния *A* определяются посредством наблюдений, а выведенный из них причинный закон — посредством индуктивного вывода, тогда как взгляд Канта на причинность подчеркивает тот факт, что мы определяем состояния *A* таким образом, что может быть установлен всеобщий закон для следствий.

2. Причинность как повторение следствий

Если мы строим доказательство на основе понятийной схемы, в которой состояние мира определяется конечным числом данных динамических переменных, то значение утверждения, что состояние *A* возвращается, ясно. Если же мы отправляемся от целого или части эмпирического мира, то уяснить значение утверждения, что состояние *A* возвращается, трудно. Ясно, что мы не можем иметь в виду, что возвращаются одни и те же наблюдаемые свойства. Если мы будем понимать это определение номинально, то, поскольку намагниченный кусок железа может выглядеть как обыкновенный, замена одного другим была бы возвращением состояния *A*; но последующее состояние *B* было бы, конечно, не одним и тем же в обоих случаях. Если мы хотим точно определить значение выражения «возвращение состояния *A*», то мы должны

¹ И. Кант, *Пролегомены*, стр. 169—170.

точно установить способ описания этого состояния. Если мы примем формулировку: «если состояние *A* всего мира возвращается, то последующее состояние *B* тоже возвращается», — то это утверждение будет иметь действительное значение только в том случае, если ход событий в мире состоит из бесконечного числа циклов в вечном повторении одних и тех же событий. Если дело обстоит не так, то наша формулировка становится тавтологической, не заключающей в себе никакого фактического содержания.

Если же нет возвращения одного и того же состояния *B*, то принцип причинности — «если возвращается *A*, то возвращается и *B*» — оказывается действительным, что бы ни случилось в мире. Если мы исключим возвращение состояния *A* вселенной, то должны ограничиться «неполными циклами». Рассмотрим, например, тело, падающее на землю из состояния покоя: когда это случается, мы, конечно, не имеем полного цикла. Начальное положение и скорость относительно Земли повторяется, но положение относительно Солнца и даже относительно окружающих тел на Земле, конечно, иное в каждом случае повторения. Если мы отвлекемся от окружающих тел, то можем сказать, что состояние *A* возвращается и что за ним всегда следует одно и то же состояние, если под этим состоянием мы имеем в виду просто положение и скорость относительно Земли. Если говорить более точно, то даже это возвращение состояния не было бы вполне полным, поскольку имеет место воздействие со стороны окружающих тел. Применимость принципа причинности (возвращение следствий) основывается на том, что он может быть применен к неполным циклам. Мы можем сказать, что практически принцип причинности требует, чтобы все явления в мире могли описываться посредством сведения их в неполные или приблизительные циклы.

Если мы действительно хотим понять значение причинности в подлинной науке, то должны помнить, что под «возвращением состояния» мы можем иметь в виду весьма различные вещи, когда пытаемся осуществить сведения явлений в приблизительные циклы

в ситуациях, действительно создающихся в природе. Мы можем показать эти различия, используя известный всем пример: физическое состояние нашей атмосферы, называемое «погодой». Мы можем говорить о возвращении ситуации, характеризующей погоду *A*, если мы имеем ту же самую температуру, то же атмосферное давление, направление и силу ветра, плотность электрических зарядов и т. д. Если мы определим «возвращение *A*» через возвращение ситуации, характеризующей погоду в вышеописанном смысле, то закон причинности позволит нам создать систему предсказаний погоды, в соответствии с которой можно было бы утверждать: если ситуация, характеризующая погоду *A*, сопровождается ситуацией, характеризующей погоду *B*, то всякий раз, когда *A* возвращается в начальное состояние, состояние *B* в свою очередь будет возвращаться в начальное состояние. Этот метод предсказания погоды имеет то преимущество, что он пользуется величинами, очень близкими к величинам наблюдаемых фактов и поэтому удобными в обращении с ними. Этот метод предсказания погоды употреблялся в течение столетий в практической метеорологии и даже рекомендовался в популярных «фермерских альманахах». Он предполагает существование циклов в ситуациях, характеризующих погоду. Вера в эти циклы иногда основывается на предрассудке, например на том, что ситуация, характеризующая погоду, повторяется каждые сто лет. Ситуация, характеризующая погоду, обычно описывалась посредством указания температуры и атмосферного давления.

Под температурой или давлением мы здесь имеем в виду значения, зарегистрированные в метеорологических таблицах. Они определяют метеорологическое состояние атмосферы. В этих таблицах температура или давление есть среднее значение этих величин в большой области, как, например, температура в Бостоне или давление в Ворчестере, Массачусетсе. Это, конечно, грубое описание погоды; температура и давление на самом деле изменяются в пределах гораздо более мелких областей. Мы могли бы, например,

под температурой или давлением иметь в виду среднее значение в пределах кубического дюйма или даже в еще более малом объеме. Эти значения являются динамическими переменными, с помощью которых описывается состояние жидкости (как и воздуха) на языке дифференциальных уравнений аэродинамики. Мы тогда могли бы рассматривать состояние A атмосферы в момент t и t_0 как начальные состояния, необходимые для решения этих дифференциальных уравнений. В этом случае описание состояния A области состоит из очень большого числа значений и является в высшей степени сложным. Если мы предположим, что эти дифференциальные уравнения могут быть интегрированы при произвольных начальных условиях, то мы, говоря математическим языком, можем вычислить значения температуры, давления и т. д. для любого момента t , если мы знаем их для $t = t_0$. Предсказания, получаемые этим способом, так же надежны, как и уравнения аэродинамики, но решения их столь сложны, что практически они бесполезны.

Однако бывают такие ситуации, в которых даже «аэродинамические состояния» нашей атмосферы не будут подчиняться строгим причинным законам; такими явлениями оказываются быстрые колебания или турбулентность. В таких ситуациях мы должны принять в качестве динамических переменных положения и скорости отдельных молекул. Число переменных тогда увеличивается до миллионов миллионов. Предсказание здесь было бы столь же надежным, как предсказание поведения частиц на основе ньютоновской механики, но практическая полезность была бы равна почти нулю. Если бы мы захотели еще более уточнить описание молекулярных состояний, то должны были бы рассмотреть субатомные части молекулы. Согласно тому, что мы узнали в гл. 8 («Движение атомных объектов»), в этой области положения и скорости атомных объектов не являются возможными динамическими переменными и никакой причинный закон не может быть сформулирован в терминах этих величин. Мы должны воспользоваться амплитудами волн

де Бройля в качестве динамических переменных. Они связаны с наблюдаемыми явлениями довольно сложным статистическим способом.

Обобщая эти замечания, мы можем сказать, что значение выражения «возвращение следствий» зависит от того, какого рода состояние предполагается возвращающимся. В нашем примере причинность может значить нечто весьма различное, в зависимости от того, определяем ли мы ее через возвращение метеорологических, аэродинамических, молекулярных или субатомных состояний.

Вопрос о том, является ли принцип причинности столь же справедливым в исторических и общественных науках, как в физике или химии, обсуждался достаточно много. Приводилось доказательство, что история исследует события, которые происходят только один раз, тогда как физика исследует повторяющиеся следствия событий. Из этого доказательства исходил немецкий философ Риккерт в своей известной книге¹. Оно стало своего рода знаменем в борьбе представителей гуманитарных наук против «экспансии» научного метода в их области.

Если мы исключим возможность того, что вся вселенная вечно движется циклически, повторяя свои состояния снова и снова, то ясно, что мировой процесс совершается только один раз. Если мы рассматриваем причинность как повторение следствий, то безразлично, скажем ли мы, что мировой процесс в целом подчиняется принципу причинности, или, что он ему не подчиняется. Что бы мы ни думали об отношении между физическими и биологическими явлениями, одно несомненно: циклы, связанные с физическими фактами, которые истолковываются как примеры причинных законов, являются малыми циклами в пределах всего мирового процесса, в целом, вероятно, не являющегося циклом. Движения тяжелых тел по направлению к Земле рассматриваются как циклы, в пределах которых повторяются одни и те же серии

¹ Г. Риккерт, Границы естественнонаучного образования понятий. Логическое введение в исторические науки, 1903.

событий. Мы, конечно, знаем, что одно и то же событие не повторяется с абсолютной точностью. Различны исходные пункты во времени и пространстве, размер падающего тела, время года, обстановка и т. д. — все различно. Однако ряд существенных черт циклов повторяется. Если мы знаем, как положение и скорости следуют друг за другом в одной части цикла, то мы можем заключить, как они будут следовать и в другой части. Фактически все причинные законы обнаруживаются путем рассечения мирового процесса на такие неполные циклы, или, другими словами, путем обнаружения того, от каких динамических можно и должно отвлечься для того, чтобы увидеть в мировом процессе множество неполных циклов.

Если мы поймем, что в физической науке понятие причинного закона всецело основывается на существовании в мировом процессе таких неполных «субциклов», то мы легко сможем понять, как следует искать причинные законы в исторических и социальных событиях. Конечно, верно, что не бывает полного повторения исторических событий, но также не бывает и полного повторения физических фактов. Причинные законы в физике раскрываются путем обнаружения, от каких динамических переменных мы можем отвлечься в определении «повторения». Чем больше переменных, от которых мы можем отвлечься, и чем меньше из них мы сохраним, тем чаще имеют место повторения и тем ближе мы подходим к причинным законам физики, в которых, как мы знаем, существенным моментом является повторение состояний, которые определяются небольшим числом переменных.

Уменьшение числа переменных может быть достигнуто различными способами. Два типичных способа легко можно описать с помощью примера с предсказанием погоды. Если мы возьмем «метеорологические» состояния, то большие площади описываются с помощью одной температуры и одного давления. Небольшое число переменных получается в результате усреднения. Если, с другой стороны, мы возьмем «молекулярное» описание состояния, то получим огромное число переменных, если при этом

учитывается положение и скорость каждой отдельной молекулы. Если, однако, мы отвлечемся от положений молекул во времени и пространстве, то каждая индивидуальная молекула описывается с помощью очень немногих переменных, в простейшем случае с помощью только переменных положения и скорости. Причинные законы для отдельной молекулы являются в таком случае очень простыми. В случае «метеорологического описания состояния» мы получили бы причинные законы в том виде, как они применяются в практических прогнозах погоды. Примером может служить следующее: если в ноябре имеется небольшая разница в давлении в определенных пунктах на североамериканском континенте, то будет очень холодная зима. Такие причинные законы практически очень полезны в долговременных прогнозах, но степень их точности не очень велика. Если же мы рассмотрим законы, определяемые движением отдельной молекулы, особенно ньютоновские законы движения, то они действуют с большой точностью, если созданы изолированные условия, при наличии которых они могут быть применены. Однако их применение в предсказании погоды связано с очень большими трудностями и часто практически невыполнимо.

Если мы будем рассматривать вопросы методологически, то можно сказать также: обращения к метеорологическим понятиям полезны в пределах очень узкой области явлений — ситуаций, характеризующих погоду. Аэродинамическое описание было бы полезно в предсказании всех явлений, происходящих в газообразных телах, тогда как молекулярное описание было бы полезно в тех случаях, когда мы имеем дело со всеми видами материальных тел. Однако в то время, как в сферу науки попадает все больше явлений, расстояние между теорией и наблюдаемыми явлениями становится все больше и больше. Операциональные определения становятся все более и более запутанными. По этим причинам формулировка, что повторение следствий имеет место, будет неполной, если мы не дадим специального определения того, что имеется в виду под словом повторение.

В нашем примере оно может значить повторение или метеорологических, или аэродинамических, или молекулярных, или даже субатомных состояний.

3. Причинность как существование законов

Как мы видели выше, юмовская формулировка причинности как повторения следствий терпит крушение, если мы пытаемся сделать ее очень точной. На первый взгляд она казалась очель ясной и даже соответствующей обыденному здравому смыслу. Если под состоянием *A* или *B* мы имеем в виду серии фактических наблюдений, то ясно, что значит «повторение», но если какое-либо заключение и можно вывести из всех наших соображений, то это, конечно, заключение, что закон причинности не имеет силы, если под *A* и *B* иметь в виду серии фактических наблюдений. Если мы сравним намагниченный кусок железа с обыкновенным, то они не отличаются друг от друга, когда мы наблюдаем их в обычном смысле слова «наблюдение». Мы, конечно, говорим, что молекулярная структура в них различна — в одном случае магнитные оси молекул упорядочены, а в другом не упорядочены. Мы можем поставить эксперименты, с помощью которых эта структура может быть создана или разрушена, например посредством нагревания железа в магнитном поле. Таким образом мы узнаём, что если определенная группа экспериментов с куском железа дает определенные специфические эффекты, то железо тоже будет обладать действием магнита. Если группа эффектов создается группой экспериментов, то мы приписываем железу динамическую переменную, которую мы называем «намагничиванием». Эта динамическая переменная комбинируется с другими, вроде плотности, температуры и давления, для того чтобы определить состояние *A* железа. «Повторение» в формулировке причинности в таком случае значит «одновременное повторение значений этих динамических переменных». Это утверждение, однако, очень далеко от первоначального.

чальной юмовской формулировки, что за группой наблюдаемых явлений («объектов» на языке Юма) следуют одни и те же явления всякий раз, когда повторяются первые. Наша новая формулировка устанавливает; что если мы проведем очень много видов экспериментов над определенной группой тел, то сможем приписать им динамические переменные u , v и w , причем таким образом, что существуют законы, которые определяют значение этих переменных, следующих за данной группой.

Наша переформулировка Юма чем-то напоминает формулировку, данную Кантом (§ 1), согласно которой состояние тела не может быть определено, если мы не наблюдали результатов экспериментов, выполненных над этим телом. Кант на языке своей философии выражает эту ситуацию, утверждая, что мы должны принять справедливость принципа причинности как данное, если хотим иметь право сказать, что такой-то эксперимент раскрывает нам определенное свойство тела; мы должны допустить, что результатом нашего эксперимента является «действие» этого свойства. Однако на языке, употребляемом в науке нашего времени, мы скорее сказали бы, что мы приписываем телу такие свойства, что результаты наших экспериментов с этим телом могут быть выражены в форме причинного закона. Мы можем, например, ввести свойство или динамическую переменную «намагничивание» таким образом, что сможем описать эксперименты в магнитном поле с помощью таких утверждений, как: если тело обладает определенной намагниченностью, определенной температурой и т. д., то законы термомагнетизма говорят нам, как это тело при данных условиях будет действовать на другие тела. Следовательно, общий принцип причинности может быть выражен следующим образом: мы можем приписывать телам динамические переменные таким образом, что небольшого числа таких переменных будет достаточно для получения возможности выразить результаты экспериментов, проведенных над этими телами, в форме причинных законов.

Если мы будем исходить из этой концепции причинности, то должны помнить, что «свойства» или динамические переменные, приписываемые телам, могут быть очень далеки от наблюдаемых свойств, если мы будем употреблять слово «наблюдаемый» в том смысле, в котором оно употребляется в повседневной жизни или в отношении к показаниям физических инструментов. Рассмотрим такое весьма простое свойство, как «длина железного стержня». В формулировке законов оно обозначается символом, буквой L . Мы говорим, например, что рычаг находится в равновесии, если между весом W_1 и весом W_2 на расстояниях L_1 и L_2 от точки опоры имеет место отношение $L_1W_1 = L_2W_2$, но что это значит с точки зрения наблюдаемых фактов? L_1 обозначает «действительное» число, которое может быть рациональным или иррациональным. Каждое наблюдение дает нам какое-то число, которое содержит конечное число единиц: они никогда не бывают иррациональными. В лучшем случае единичное наблюдение может сказать нам, что L_1 находится между двумя числами, вроде 1001 и 1002. Чтобы найти число L_1 , которое должно быть введено в физический закон, мы делаем очень много измерений и берем среднее число. Это среднее число есть результат некоторой манипуляции, а не непосредственного измерения. Этот результат вводится в закон $L_1W_1 = L_2W_2$, а его правильность проверяется исследованием того, оказываются ли равными выражения L_1W_1 и L_2W_2 , являющиеся оба результатами очень многих наблюдений. Мы часто говорим, что длина стержня «обладает» значением L , но не должны забывать, что значение L есть результат вычисления, которое основывается на большом числе наблюдений. Следовательно, символы, между которыми причинный закон устанавливает связь, обозначают не единичные наблюдения. «Операция», которая определяет «операциональное значение» символа, такого, как L_1 или L_2 , состоит из большого числа показаний в их соединении с математическими вычислениями, вроде вычисления среднего. Если мы хотим употреблять выражения, подобные выражению

«длина обладает значением L », то должны понимать, что процедура установления этого обладания является весьма сложной.

Многие выступающие по вопросам науки и философии стали бы возражать против того, чтобы называть закон рычага, $L_1W_1 = L_2W_2$, причинным законом. Такой закон в каждом случае устанавливает следование событий во времени. Однако легко видеть, что закон $L_1W_1 = L_2W_2$ на самом деле не устанавливает следования во времени. Он гласит: если для рычага в момент $t = t_0$ имеет силу отношение $L_1W_1 - L_2W_2 = 0$ и если угловая скорость вокруг точки опоры равна нулю, то рычаг в любое будущее время $t = t_1$ будет в том же положении, как и в $t = t_0$. Отношение $L_1W_1 = L_2W_2$ есть предсказание будущего при конкретных начальных условиях. Легко видеть, что $L_1W_1 = L_2W_2$ есть конкретный случай более общего причинного закона, который определяет вращение рычага вокруг точки опоры. Обозначим через Φ угол, образуемый стержнем рычага и установленным направлением, а через α — угловое ускорение рычага, через I — момент инерции рычага вокруг точки опоры, через M — момент внешней силы относительно точки опоры. Уравнение движения для вращения вокруг точки опоры аналогично ньютоновскому уравнению для движения материальной точки с массой m , на которую действует сила F : $ma = F$, где a — есть линейное ускорение. Для вращательного движения мы заменяем массу моментом инерции, линейное ускорение — угловым ускорением, а силу — моментом силы. Таким образом мы получаем $I\alpha = M$. Если мы применим это уравнение к случаю рычага, то получим $M = W_1L_1 - W_2L_2$ и уравнение движения становится $I\alpha = W_1L_1 - W_2L_2$. Если мы применим это уравнение к случаю, когда рычаг остается в покое, то получим $\alpha = 0$ и $W_1L_1 - W_2L_2 = 0$, что опять является законом равновесия для рычага.

Из вышерассмотренного следует, что все законы равновесия являются специальными случаями причинных законов. Они устанавливают условия, при которых мы можем предсказать, что в будущем движения

(или по крайней мере ускорения движения) не будет. Таким образом могут интерпретироваться даже законы геометрии. Если мы допустим справедливость евклидовых аксиом для треугольников, сделанных из определенного материала, и найдем посредством измерения, что сумма углов в них равна двум прямым углам, то сможем предсказать, что эти треугольники будут оставаться в покое, если начальные скорости будут равны нулю. Этот геометрический закон не упоминается в механике, потому что он принимается как нечто само собой разумеющееся. Но если говорить точно, то следует отметить, что при предсказании требуется применение законов геометрии. Если бы сумма углов в треугольнике не была равна двум прямым, нужно было бы принимать во внимание внутренние напряжения в каждом предсказании будущего движения треугольника.

Многие авторы различали законы, содержащие время, и законы, связывающие состояния в один и тот же момент времени, например геометрические законы, но это различие не является существенным. Мы знаем, что все законы равновесия суть специальные случаи более общих причинных законов. Это становится еще более ясным, если принять в расчет теорию относительности (см. гл. 5). Согласно этой теории, от произвольной системы отсчета зависит, совершаются ли два или больше события в один и тот же момент времени или в разные моменты. Закон инерции в такой же степени является причинным законом, как и второй закон Ньютона, согласно которому действие силы увеличивает количество движения.

4. Причинный закон и статистический закон

Если мы выстрелим пулей и придадим ей определенную скорость в определенном направлении, то, исходя из законов движения Ньютона, сможем узнать, в какую именно точку мишени она попадет; но если мы метнем монету и будем наблюдать, как она упа-

дет на стол, то не сможем предсказать, какой стороной она упадет вверх («орел» или «решка»). Мы можем, однако, предсказать, что из тысячи бросаний примерно половина выпадет «орлом». В первом случае мы говорим о причинном законе, а во втором — о статистическом законе. Попробуем как можно точнее определить разницу между этими двумя типами законов. Мы знаем, что, как во всяком нашем доказательстве в геометрии, в механике, в атомной физике и т. д., мы должны резко различать описание того, что на самом деле наблюдается или доступно наблюдению, и символическую схему (или модель), посредством которой ученый описывает явления. Например, мы должны видеть разницу между расстоянием D между двумя точками, которые подчиняются аксиомам евклидовой геометрии, и физической операцией, посредством которой такое расстояние измеряется и посредством которой можно проверить, действительно ли две точки разделяются точно определенным расстоянием. Помня это, мы будем анализировать разницу между причинным и статистическим законом, используя пример с материальной точкой, имеющей определенное начальное положение и определенную начальную скорость по отношению к мишени и попадающей в определенную точку ее.

Если мы знаем начальные условия (причина), то можем ли мы предсказать точку попадания на мишени (действие)? Что, выражаясь точно, представляет собой тот «причинный закон», который связывает причину с действием? Начальным положением может быть точка P , и мы можем сообщить нашей материальной точке некоторую скорость в направлении, перпендикулярном к плоскости мишени. Если эта материальная точка пройдет точно через P и строго перпендикулярно к мишени, то она попадет в центр C мишени. Если мы сообщим некоторую скорость большому числу материальных точек при тех же самых условиях, то они все попадут в мишень C . Этот результат вычисляется путем применения законов

Ньютона, в особенности закона инерции. Для того чтобы сделать доказательство наиболее простым, отвлечемся от действия тяготения и допустим, что траектории частиц проходят в горизонтальном направлении. Мы можем попасть в центр мишени с уверенностью, если уверены, что сообщаем материальной точке некоторую скорость при абсолютно правильных начальных условиях. Это значит, что мы должны сообщать некоторую скорость строго в точке P и направить ее строго горизонтально.

Если мы попытаемся осуществить этот эксперимент на практике, то убедимся в технических трудностях, связанных с выбрасыванием тела точно таким способом. Мы повторяем этот эксперимент практически при одних и тех же условиях; это значит, что в каждом случае мы создадим одно и то же техническое устройство для того, чтобы получить желаемые условия. Затем мы наблюдаем, что в действительности мы попадаем в каждом случае не в центр мишени, но что точки попадания будут распределены определенным образом вокруг центра C . Если мы исследуем это распределение точек попадания, то увидим, что оно обладает симметрией относительно точки C и что частота попаданий уменьшается с возрастанием расстояния r от центра. Говоря математическим языком, частота попаданий уменьшается как гауссовская функция ($e^{-r^2/2D}$) расстояния r от центра. Всякое такое распределение характеризуется постоянной D , «дисперсией» распределения точек попадания. Чем меньше D , тем больше попаданий концентрируется вокруг центра; чем больше D , тем больше эти попадания распыляются. Путем простого вычисления мы можем вывести заключение, что $D^2 = \Sigma r^2/N$, где Σr^2 обозначает сумму квадратов расстояний всех точек попаданий от центра, а N — число попаданий, которые мы рассматриваем. «Дисперсия» D есть мера разброса точек попадания около центра мишени. Эта дисперсия может обратиться в нуль только в том случае, если каждый раз будет иметь место попадание точно в центр, поскольку из $D = 0$ следует, что каждое отдельное r должно быть равно нулю.

Если мы опишем начальные условия («причину») с точки зрения выполнимой технической операции, то сможем предсказать точно не точку мишени, в которой будет иметь место попадание, а только схему попаданий и дисперсию D . Действием является схема и дисперсия. Это положение описывается в науке следующим образом: если бы мы могли придать телу точное начальное положение P и скорость, которая была бы строго перпендикулярной к мишени, то тело попало бы в центр совершенно точно. Но на практике из-за несовершенства приспособлений, с помощью которых мы устанавливаем положение и направление, действительное начальное положение находится на некотором расстоянии от P , а скорость имеет определенную компоненту, параллельную мишени. Проекцию расстояния от P на мишень мы можем назвать Δq , тогда как компонента импульса (масса \times скорость), параллельная мишени, может быть названа Δp . Тогда мы можем сказать, что не все тела попадают в центр мишени, потому что не все Δq и Δp равны нулю. В таком случае имеет место дисперсия $\Delta q : D_q^2 = \Sigma (\Delta q)^2 / N$ и дисперсия $\Delta p : D_p^2 = \Sigma (\Delta p)^2 / N$ и мы можем сказать, что все тела попадут в центр только в том случае, если обе дисперсии, D_p и D_q обращаются в нуль. Если обе дисперсии, D_p и D_q , не обращаются в нуль одновременно, то мы не можем предсказать «эффекта» бросания каждого отдельного тела, а можем предсказать только схему, создаваемую бросанием всего «роя» тел. Мы имеем здесь статистический закон.

Однако из законов движения посредством чисто математического доказательства следует, что точные попадания в центр предсказать можно, если создать «рой» со стремящейся к нулю дисперсией положения и импульса. Если, как в данном случае, при равной нулю дисперсии в начальных условиях можно также обратить в нуль и дисперсию в результате, то наш закон, согласно аксиомам ньютоновской механики, становится причинным законом. Он является также причинным законом с точки зрения наблюдаемых явлений, если мы уверены, что сможем произвести ус-

вершенствования в практических приспособлениях, с помощью которых мы можем сделать обе дисперсии, D_p и D_q , как угодно малыми.

Теперь мы попробуем охарактеризовать законы, которые не являются причинными в только что описанном смысле. Причинный закон должен удовлетворять двум требованиям — математическому и физическому (эмпирическому). Согласно первому, дисперсия «эффекта» обратилась бы в нуль в том случае, если бы дисперсия в начальных условиях равнялась нулю; согласно второму, существуют такие физические приспособления, с помощью которых дисперсия начальных условий (D_q и D_p) может быть обращена в нуль одновременно. Это, конечно, согласуется с ньютоновскими законами движения, если мы допустим, что эти законы, включая операциональные определения положения и импульса, оказываются справедливыми для значений p и q , как бы они ни были малы. Только из этого допущения мы можем вывести возможность одновременного обращения в нуль дисперсии D_q и D_p и, следовательно, точного предсказания попадания в центр. Мы знаем, что с точки зрения наблюдаемых явлений даже закон инерции, допускающий точное попадание в центр мишени, является законом схемы попаданий, то есть статистическим законом. Мы называем его причинным только потому, что с помощью одновременного уменьшения дисперсии в начальных условиях мы можем предсказать точное место попадания. Следовательно, мы получаем разные типы законов, если обращаемся к движениям, которые тоже допускают предсказание схемы попаданий, но в которых дисперсия действия не обращается в нуль посредством приравнивания дисперсии нулю в начальных условиях. Очевидно, что именно так дело обстоит в описании игры «орел» или «решка» как механического явления, производимого бросанием монеты. Как всякий знает, результатом этого механического эксперимента является то, что из большого числа бросаний около

одной половины выпаданий приходится на «орла», а вторая половина — на «решку».

Об этом эксперименте часто говорили, что мы не знаем причины того, почему одна сторона, будь то «орел» или «решка», должна выпадать чаще, чем другая. Однако движение монеты подчиняется тем же механическим законам, что и движение материальной точки к центру мишени. Наше незнание того, что произойдет, не может заменить ньютоновских законов движения. Мы должны понимать, что в эксперименте с монетой мы имеем причину — способ, каким мы бросаем монету посредством некоторого приспособления, и «действие» — частоту, с какой выпадают «орел» или «решка». Это аналогично случаю, в котором прицельная стрельба по мишени является причиной, производящей в качестве действия попадания с определенной частотой на разных расстояниях от центра. Если мы бросим монету N раз, где N — большое число, то сможем рассматривать все эти бросания как один эксперимент. Всякий раз монета бросается при одних и тех же начальных условиях. Действие может быть описано как схема, посредством обозначения каждого бросания через H или T , смотря по тому, выпадает ли «орел» или «решка». Действие в таком случае будет описано посредством $HTTHTHTTTHTH$. Чем больше продолжается эта схема, тем становится яснее, что в этой схеме будет приблизительно одно и то же число H и T .

Однако существует одно важное различие между «эффектами», определяемыми начальными условиями прицеливания в мишень и бросания монеты. В первом случае путем все большего и большего уменьшения дисперсии начальных условий мы можем также уменьшить и действие, пока не сможем почти точно предсказать значения q и p при попадании в мишень. Но в случае бросания монеты мы почти с достоверностью можем предсказать схему $HTT\dots$, в которой частота появления «орла» равна приблизительно $\frac{1}{2}N$ из N бросаний. Эта схема не зависит от начального положения и скорости монеты. Уменьшением дисперсии начальных условий мы не могли бы изме-

нить действие — частоту выпаданий H и T , получающихся в длинной серии бросаний.

Если мы наблюдаем небольшое число бросаний, то ничего не можем предсказать; схема не обладает постоянством и исключает возможность предсказания. Но чем большей становится серия, тем более зависимой является частота. Мы говорим о частоте $1/2$, имея в виду под частотой появления отношение между числом случаев, в которых выпадает «орел», и числом всех бросаний. В этом случае мы говорим, что бросание монеты как причина производит почти с достоверностью действие — серию бросаний, в которой частота «орлов» составляет $1/2$. Мы можем утверждать то же самое и с прицеливанием в мишень. Если мы сообщаем некоторую скорость очень небольшому числу материальных точек, то наблюдаем небольшое число попаданий в мишень и не можем предсказать ничего о расстоянии от центра C , на котором будут иметь место попадания; но если мы бросаем очень много тел, то можем предсказать почти с достоверностью, что образуется определенная схема. Если мы опишем вокруг C окружности с увеличивающимися радиусами r , то отношение числа попаданий в окружности радиуса r ко всему числу попаданий будет определенной функцией r , если число попаданий становится очень большим.

На этих двух примерах мы видим, что из ньютоновских законов движения можно вывести два типа законов, справедливых для наблюдаемых явлений. Мы должны помнить, что сами ньютоновские законы являются не утверждениями о наблюдаемых фактах, а только понятийной схемой. Есть, однако, два основных типа легко поддающихся проверке законов, которые можно вывести. С одной стороны, это причинные законы. Прицельная стрельба по мишени является примером этого типа. В этом случае ситуация проста. Силовое поле простое, а начальные условия описываются с помощью значений нескольких переменных. В этом случае мы с большой уверенностью можем уменьшить дисперсию в предсказании конечных значений переменных (значений на мишени). Однако из

ньютоновских законов возможно сделать и совершенно другие выводы. Когда мы имеем дело со вторым типом законов, ситуация очень сложна. Начальные условия монеты не могут быть описаны с помощью нескольких переменных. На своем пути в воздухе монета сталкивается с колоссальным числом частиц воздуха с нерегулярными скоростями. В этом случае мы не можем ничего утверждать о значениях динамических переменных в определенное время, а можем предсказать только некоторое среднее поведение; можно отметить только, какой стороной — «орлом» или «решкой» — выпадает монета после удара о землю. Однако эта схема может быть описана с помощью простого закона, в нашем случае посредством частоты $1/2$. Закон этого типа называется «статистическим законом». В этом случае предсказываемая частота не изменяется благодаря какому-либо уменьшению дисперсии в переменных, характеризующих начальные состояния монеты.

Всякое применение ньютоновской механики к наблюдаемым явлениям основывается на этих двух типах законов. Оба одинаково являются результатами ньютоновских уравнений движения и двух разных видов приближительных решений, которые могут быть получены при разных обстоятельствах. В первом случае уменьшение дисперсии начальных значений позволяет нам с высокой степенью точности предсказать наличие конкретных значений динамических переменных. Тогда мы говорим о причинных законах. Во втором случае, исходя из приближительных начальных условий, мы с большой точностью можем предсказать определенную схему в значениях динамических переменных, или, другими словами, «частоту», с которой различные значения этих переменных появляются в определенное время. Мы говорим о статистических законах.

Успехи науки доказали, что не только в механике, но и во всех областях науки мы имеем дело с этими двумя типами закона — с причинными законами и со статистическими законами. Разница заключается, конечно, в том, что в областях, которые считаются под-

чиняющимися ньютоновской механике, мы можем вывести оба типа закона из ньютоновской механики. Выведение статистических законов из ньютоновских законов движения может быть в последнем счете прослежено до «эргодической теоремы». Если мы предположим, что в механической системе, которая может быть любой сложности, все массы всегда остаются в пределах фиксированных конечных границ, а энергия остается постоянной, то из дифференциальных уравнений движения мы можем вывести, что наша система снова и снова будет проходить близко ко всем положениям и скоростям, которые находятся в согласии с предписанными границами и энергией. Если мы будем следить за этой системой в течение долгого периода времени, то увидим, что каждое состояние системы (положение и импульс) будет проходиться с определенной частотой, которая зависит только от этого состояния. Эта «эргодическая теорема» устанавливает для механической системы статистический закон, и это ведет нас к предположению, что всякий статистический закон в конечном счете основывается на теореме, подобной «эргодической».

В других областях мы также предполагаем существование этих двух типов закона. Мы познаем их непосредственно, не требуя доказательства, что они имеют общее происхождение. Однако то, что в механике оба типа могут быть прослежены до ньютоновских законов, делает достаточно правдоподобным, что причинные и статистические законы не являются двумя несовместимыми друг с другом типами закона. Если мы говорим с точки зрения наблюдаемых явлений, то все законы являются статистическими. Наблюдая процедуру прицеливания в мишень, мы можем предсказать схему попаданий; точно так же, наблюдая процедуру бросания монеты, мы можем предсказать частоту выпадания «орла» или «решки». Исходя из наших математических законов движения, мы можем, однако, ввести причинный закон, в первом случае посредством уменьшения дисперсии в переменных, характеризующих начальные условия.

Вычислив этот предел, мы вводим следующий способ выражения: если бы телу сообщалось ускорение в точном соответствии с каким-либо математическим условием, то оно попало бы точно в центр мишени. Но если сказать, что «материальная точка имеет некоторое значение скорости», то это не будет иметь другого смысла, кроме утверждения существования предела. Наблюдаемая скорость всегда есть статистическое среднее из наблюдений и не может иметь места в точном причинном законе иначе, как в качестве предела. Если говорить строго, то нужно отметить, что имеются статистические законы, которые допускают пределы; эти законы называются причинными. С другой стороны, имеются статистические законы, вроде законов, которым подчиняется бросание монет или вытягивание жребия, не допускающих пределов.

Рассуждая таким образом, мы должны помнить, что во всех этих доказательствах мы принимали как само собой разумеющееся, что явления, о которых идет речь, подчиняются законам, которые могут быть выражены в терминах некоторых конкретных переменных, положений и скоростей. Если мы возьмем более общие явления, вроде социологических, биологических или психологических, то можно говорить о «законах» только в том случае, если мы также определим, для каких переменных должны существовать причинные или статистические законы. Если мы описываем игру с бросанием монет, рассматривая в качестве переменной частоту выпадания «орла», то это будет причинный закон. Из процедуры бросания следует с достоверностью, что частота выпадания «орла» будет составлять $\frac{1}{2}$.

Глава 13

НАУКА НАУКИ

1. Место индукции в древней и новой науке

Великий английский философ Джон Стюарт Милль писал в одном письме в 1831 году: «Если существует наука, развитию которой я могу содействовать, то я думаю, что эта наука самой науки, наука исследования, метода».

По прочно установившемуся обычаю разница между наукой нового времени и наукой средних веков сводится к изменению роли индукции и дедукции. Средневековая наука, следуя линии аристотелевской философии, придерживалась дедукции и оперировала путем заключений из общих принципов к отдельным фактам, тогда как новая наука (после 1600 года) начинает с наблюдаемых отдельных фактов и приходит к общим принципам с помощью метода индукции. Естественные науки — физика, химия, биология — получили название индуктивных наук. Одной из самых важных книг по истории естественных наук следует признать «Историю индуктивных наук» Вильяма Уэвелла. Что в действительности имеется в виду под таким различием между наукой нового времени и древней наукой? Мы хотели бы подчеркнуть, что новая наука собирает отдельные факты путем наблюдения и эксперимента и переходит от этих фактов с помощью метода индукции к общим принципам,

тогда как Аристотель в своей книге по физике начинал с общих принципов и посредством логических умозаключений (дедукций) выводил из них отдельные события, которые можно было наблюдать. Действительно, когда учёный нового времени путем индукции устанавливает общие принципы, он должен вывести из них логические заключения, для того чтобы получить индивидуальные факты, которые могут быть проверены экспериментом. С другой стороны, такой учёный, как Аристотель, находил свои общие принципы не в сновидениях, а выдвигал их на основе опыта, который состоял из совокупности наблюдаемых индивидуальных фактов.

Таким образом, в действительной практике наука всегда пользуется как индукцией, так и дедукцией, но фактически существовало различие в установлении общих принципов на основе наблюдаемых фактов. Современники Платона и Аристотеля, конечно, знали из наблюдения, что небесные тела движутся в небе по орбитам, которые можно было приблизительно отождествить с круговыми. Принцип кругового движения небесных тел, конечно, имел своим источником эти наблюдения; таким образом, мы сказали бы, что принцип круговых орбит был установлен с помощью индукции, если бы употребили это слово в том смысле, в каком понимается выведение общих суждений из суждений о единичных фактах. Однако мы показали, что вера в принцип круговых орбит небесных тел была гораздо сильнее, чем это мог подтвердить индуктивный вывод из данных наблюдения. Люди верили в него, как в интеллигибельный принцип. Казалось весьма правдоподобным, что такие совершенные божественные существа, как небесные тела, должны двигаться тоже по «совершенным кривым», а совершенной кривой является круг. Если из принципа круговых орбит вывести результаты о положении планет на сфере, то принцип приблизительно подтверждается; однако если бы кто-нибудь вывел большое число положений планет и точно измерил бы их, то он обнаружил бы, что орбиты не вполне круговые, а эллиптические, как установил

Кеплер. Первоначально доказательство, построенное на «совершенстве», казалось настолько убедительным, что не обращали большого внимания на то, что положения планет, выведенные из принципа круговых орбит, не вполне согласовывались с наблюдаемыми положениями. Но со временем внимание к этому факту усилилось.

Различие между древней и новой наукой заключалось не в употреблении индукции — древняя наука так же основывалась на индукции, как и новая, — а в критериях, благодаря которым открытый принцип признавался справедливым. Теперь метод «проверки» другой; больше значения придается согласию результатов с наблюдаемыми фактами, чем согласию принципов с картиной мира, которое было принято по тем соображениям, которые мы назвали (в гл. 1 и 2) «философскими» причинами. Многие авторы говорили, что новая наука характеризуется твердой решимостью признавать в качестве «проверки» общих принципов только и исключительно согласие полученных из них результатов с «наблюдаемыми фактами». Однако это решение нужно брать с «крупницей соли» даже в наше время. Практически это решение имело в виду, что проверка астрономических принципов должна учитывать только проверку посредством наблюдения астрономических фактов. Рассмотрение вопроса о согласии или несогласии коперниковской системы с теологическими и философскими учениями с точки зрения «новой науки» было объявлено «нарушением правил».

Однако то, что коперниковская система нарушала привычки мышления обыденного здравого смысла, было тоже «наблюдаемым фактом»; он породил психологическое беспокойство: это были наблюдаемые факты, в реальности которых нельзя сомневаться. С другой стороны, новая наука приняла свои принципы физики не только на основе физических фактов, которые могут быть выведены из этих принципов и наблюдаться с помощью наших чувств. Коперниковская система, конечно, ни в коем случае не могла быть признана до того, как вера

в буквальное истолкование священного писания утратила свою силу. Принцип относительности Эйнштейна, безусловно, не был бы признан, если бы метафизическая вера в абсолютное пространство и время не была подорвана эмпирической философией таких людей, как Эрнст Мах. Поэтому мы не можем провести строгого разделения между аристотелевским типом проверки и типом, которым пользуется новая наука. Мы можем сказать только то, что новая наука предпочитает такие критерии проверки, которые могут быть поняты и проверены каждым, имеющим достаточный опыт. Понятно, что каждый человек, обладающий нормальными чувствами и нормальными умственными способностями, может приобрести такой опыт. Мы должны, конечно, признать при этом неизбежную неопределенность таких слов, как «нормальный» и «понимать». Для гарантии того, что метод проверки доступен каждому, наука предпочитает «наблюдения», которые состоят, например, в видении в определенном месте пространства в определенный момент времени красного пятна, или ощущении тепловой круглой поверхности, или переживании подобных «чувственных наблюдений». Важно понять, что ученый не придерживается метафизических взглядов, вроде того, что «действительный мир состоит из чувственных наблюдений»; он предпочитает чувственные данные только потому, что они могут быть повторены и проверены каждым.

Мы можем сформулировать разницу между древней и новой наукой и иначе: Аристотель и средневековая наука очень быстро переходили от наблюдаемых чувственных данных к очень общим принципам, которые казались интеллигибельными. Исходя из немногих довольно неопределенных наблюдений положений на сфере, они установили общий закон совершенных круговых орбит. Можно было наслаждаться красотой этих общих принципов, но от них не было обратного пути к законам низшей общности, из которых могли быть выведены факты, стоявшие ближе к точному наблюдению, чем факты, от которых отправлялись. Как хорошо известно, Френсис Бэкон принадлежал

к философам, смотревшим на индукцию как на основу науки. Он правильно описал разницу между ролью индукции в древности и ее ролью в новой науке. Хотя считается, что именно он совершил поворот от аристотелевской философии к новой науке, он никогда не утверждал, что аристотелевская философия и средневековая наука не основывались на индукции; но он очень удачно охарактеризовал разницу между древней и новой наукой. В своей книге «Новый Органон» Бэкон указал иной подход, который наука должна усвоить, чтобы быть полезной в деле овладения природой. Френсис Бэкон писал:

«Два пути существуют и могут существовать для отыскания и открытия истины. Один воспаряет от ощущений и частных к наиболее общим аксиомам и, идя от этих оснований и их непоколебимой истинности, обсуждает и открывает средние аксиомы. Этим путем и пользуются ныне. Другой же путь выводит аксиомы из ощущений и частных, поднимаясь непрерывно и постепенно, пока наконец не приходит к наиболее общим аксиомам. Это путь истинный, но не испытанный»¹.

Мы ясно видим: Бэкон считает, что как древняя, так и новая наука начинается с индукции; но в чем разница между использованием индукции в древней и новой науке? Бэкон ясно описывает разницу:

«Оба эти пути исходят из ощущений и частных и завершаются в высших общностях. Но различие их неизмеримо. Ибо один лишь бегло касается опыта и частных, другой надлежащим образом задерживается на них. Один сразу же устанавливает некие общности, отвлеченные и бесполезные, другой постепенно поднимается к тому, что действительно более близко природе»².

Существенным в формулировке Бэкона является то, что он говорит о роли «средних аксиом», или, как мы их называли в гл. 1, принципах «промежуточной

¹ Ф. Бэкон, Новый Органон, стр. 111.

² Там же, стр. 112.

общности». Это наши физические законы, вроде закона тяготения или закона эквивалентности тепла и механической работы. Утверждения о наблюдаемых явлениях могут быть с точностью выведены из этих принципов. В новой науке эти законы конструируются, исходя из наших наблюдений и экспериментов, с помощью «индукции», тогда как в средневековой науке или философии процесс индукции из наблюдений проходил мимо этих «средних аксиом» и создавал самые общие философские принципы, вроде «совершенства», «искания естественного места» и т. д., из которых «средние аксиомы» выводились посредством дедукции. Следовательно, между самыми общими принципами и наблюдаемыми фактами никогда не было полного согласия.

2. Индукция, общие законы и единичные факты

Если мы посмотрим на структуру тех наук, которые мы обсуждали в нашем изложении геометрии, ньютоновских законов движения, теории относительности и движения атомных объектов, то заметим, что везде мы начинали с системы аксиом и выводили из нее теоремы. Главная проблема, перед которой мы сейчас стоим, такова: как прийти к этим аксиомам и общим принципам. Сырой материал, который нам дается и из которого мы должны построить эти принципы, состоит, во-первых, из результатов, которые мы получаем от физических наблюдений и экспериментов. Мы коротко можем назвать его нашим «материалом наблюдений». С другой стороны, непосредственным строительным материалом принципов являются слова или математические формулы вместе с правилами, согласно которым эти слова и формулы соединяются между собой, правила синтаксиса или дедуктивной логики. Мы коротко можем говорить о «лингвистическом материале». Задачей науки было вывести из материала наблюдений общие принципы, которые состояются из символов и связываются посредством логических операций. Мы можем сказать,

что на основе «материала наблюдений» наука должна построить какую-то структуру «лингвистического материала». В самом широком смысле процедура построения такой структуры и называется индукцией.

Ясно, что как материал наблюдений, так и лингвистический материал развивается в ходе человеческой истории. Их рост зависит от социологических и психологических факторов. Пользуясь более знакомым языком, люди часто описывали эти два элемента как «факты» и «идеи», так сделал Уэвелл в своей фундаментальной книге по истории и философии индуктивных наук. Дюкасс указывает, что «существует много пар терминов, которые все относятся к тому или другому аспекту этой основной антитезы». Может быть, полезно привести несколько таких пар для того, чтобы освободить наше мышление от слишком косной приверженности к некоторым словесным схемам. Уэвелл говорит, например, об антитезе мыслей и вещей. Так, в знании, что год состоит из 365 дней, заключается, с одной стороны, сумма дней как нечто данное и, с другой стороны, мыслительный акт счета. «Без мыслей не могло бы быть связей; без вещей не было бы никакой действительности». Другой известный способ выражения заключается в противопоставлении необходимых и опытных истин. «Необходимые истины, — пишет Уэвелл, — выводятся из наших собственных мыслей; опытные же истины выводятся из наблюдений окружающих нас вещей». Даже противоположность дедукции и индукции может рассматриваться как другой аспект той же самой основной антитезы. Уэвелл подчеркивает, что дедукция начинается с утверждений, которые поставляются нашими мыслями, тогда как индукция начинается с наблюдения внешних вещей. Другая антитеза подобного рода имеется между теорией и фактом. Два термина, которые, согласно Уэвеллу, в высшей степени отчетливо разделяют члены этой антитезы, есть идеи и ощущения. Уэвелл говорит:

«Я называю пространство, время, причину и т. д. «идеями»... Эти отношения предполагают нечто выхо-

дящее за пределы того, что дают чувственные наблюдения... Мы употребляем слово «идеи» для того, чтобы выразить этот поставляемый самим мышлением элемент, который должен соединиться с «ощущением» для того, чтобы возникло знание»¹.

Если бы мы вместе с Уэвеллом употребляли выражения, не очень точные, но близкие к языку обыденного здравого смысла, то могли бы сказать, что индукция начинается с ощущений, фактов, вещей... связывает эти элементы с помощью идей, теорий, мыслей о необходимости... и ведет к общим принципам, из которых посредством дедукции могут быть получены новые вещи, факты... В конце концов, как мы видим, индукция от наблюдаемых фактов ведет к открытию новых фактов. Приведем простой пример. Мы наблюдаем положения планет на сфере; это — факты. Кеплер добавил идею эллиптических орбит, с помощью которой он связал наблюдаемые факты; таким образом он пришел к формулировке своих законов движения. Исходя из этих законов, с помощью дедукции можно было найти положения планет, которые еще не наблюдались. Таким путем на основе наблюдаемых фактов можно было предсказывать новые факты. Был поднят вопрос о том, как идет процесс индукции: от наблюдаемых фактов к общим законам или от наблюдаемых фактов к новым, еще не наблюдавшимся фактам? Как мы теперь знаем, что от известных фактов не может быть пути, ведущего с помощью логических заключений к новым, неизвестным фактам; такой путь может идти только через общие принципы, из которых и могут выводиться факты. С другой стороны, общие принципы могут быть найдены только с помощью индукции из данных фактов. Тем не менее было много споров о том, является ли индукция методом, ведущим от данных фактов к новым или от данных фактов к общим законам.

¹ C. J. Ducass, On Whewell's Philosophy, Philosophical Review, L., 1951.

Может быть, полезно обратиться к дискуссии по этому вопросу между Джоном Стюартом Миллем и Вильямом Уэвеллом, поскольку оба эти автора сто лет назад сделали для разработки проблемы индукции больше, чем кто-либо из их современников. Даже в наше время их работы должны изучаться как основополагающие. В самом деле, Уэвелл был первым автором, сформулировавшим структуру науки так, как она понимается теперь. С другой стороны, Милль излагает индукцию способом, более близким к идеям обыденного здравого смысла, и, следовательно, с нашей современной научной точки зрения несколько устаревшим способом. Таким образом, дискуссия между ними дает ясную картину построения современной науки. Уэвелл отступает, например, от Милля, который включает в свое понятие индукции процесс, посредством которого мы приходим к индивидуальным фактам, исходя из других фактов того же порядка частности. Такой вывод является, во всяком случае, не только индукцией; если это вообще индукция, то индукция, применяемая к примеру.

Если один шар ударяет другой шар, то посредством индукции мы можем найти закон сохранения импульса; согласно же Уэвеллу, термин «индукция» не может быть применен, если обычный бильярдный игрок благодаря своей ловкости и не думая о импульсе, может послать шар в желаемом направлении. Милль подчеркивает, что это тот тип индукции, к которому способны даже животные.

Это действие согласно «условным рефлексам» — именно то, что «обжегшийся ребенок или даже обжегшаяся собака боится огня», — согласно Миллю, есть действие, руководимое «индукцией». Уэвелл, однако, возражает, что «...хотя у животных, как и у человека, действие и может быть изменено привычкой, а привычка — опытом, такой опыт, пока он сохраняет эту чисто практическую форму, не является частью материала науки». Вероятно, можно подумать, что вопрос о том, называть ли реакции детей и животных «основанными на индукции», есть вопрос только о словах. Однако Уэвелл обращает наше вни-

мание на то, что является весьма важным в науке и философии. Когда мы предпочитаем одно определение такого термина, как индукция, другому, то делаем это с определенной целью. Определения употребляются для того, чтобы формулировать суждения о фактах насколько возможно коротко и просто. Что касается нас, то мы предпочитаем пользоваться следующими суждениями: «Говоря об индукции, мы имеем в виду процедуру, посредством которой были построены существующие теперь среди нас науки». Как подчеркивает Уэвелл, науки основаны не на практически полезных привычках и тенденциях, а на общих принципах. Следовательно, называть практически полезные привычки или условные рефлексy индукцией значило бы превратить утверждение, что науки развиваются посредством индукции, в ошибочное. Правильным утверждением тогда было бы, что науки развиваются посредством специального типа индукции, пользующегося общими принципами, тогда как индукция через практически полезные привычки играет меньшую роль. Эта формулировка была бы, вероятно, правильной, но слишком сложной и исключала бы то простое утверждение, что «наука развивается главным образом посредством индукции».

3. Индукция посредством новых понятий

Если мы будем придерживаться этой формулировки как основного утверждения о «науке науки», то должны исследовать, как наука в действительности развивается, для того чтобы узнать, что имеется в виду под индукцией. Если воспользоваться нашим старым примером, то можно рассмотреть закон Кеплера, согласно которому планеты движутся по эллиптическим орбитам. Он начал с наблюдаемых положений планеты Марс на сфере и вывел свой закон из этого «материала наблюдения» посредством индукции. Интересно опять рассмотреть, как индуктивный вывод Кеплера был описан Джоном Стюартом Миллем и Вильямом Уэвеллом. Согласно Миллю,

Кеплер ничего не прибавил к своим наблюдениям положений планеты Марс; он увидел только, что все они были расположены на эллипсе. «Кеплер установил, — говорит он, — факт, что планета движется по эллипсу. Но этот факт, который Кеплер не добавил, а обнаружил в движении планеты ...был тот самый факт, различные стороны которого наблюдались по отдельности, это была сумма разных наблюдений». В противоположность этому Уэвелл усиленно подчеркивал, что это «была *не только* сумма наблюдений; это была сумма наблюдений, *виденных с новой точки зрения*, которая была привнесена умом Кеплера».

Уэвелл иллюстрировал эту разницу известной аналогией. Законы Кеплера содержатся в его книгах, но тот, кто не знает латинского языка, не найдет их там:

«Мы должны знать латинский язык, чтобы найти законы в книге. Точно так же исследователь должен знать язык науки, так же как и смотреть в книгу природы, чтобы обнаружить научные истины».

Книга природы состоит из того, что мы назвали «материалом наблюдения»; но для того, чтобы открыть и сформулировать закон, исследователь должен в достаточной мере владеть лингвистическим материалом для чтения книги природы. Очень убедительно и ярко Уэвелл высказывает мысль, которая очень близка к концепции науки, господствующей в науке XX века. «Человек есть *истолкователь* природы; не только наблюдатель, но и истолкователь. Нужно изучать язык, так же как и наблюдать, для того чтобы читать письма, начертанные на лице вселенной».

Согласно Уэвеллу, существенным моментом во всякой успешной индукции является новое понятие, новый порядок, который создается автором из его языкового или логического материала. У Кеплера этим понятием был эллипс; в механике Галилея — понятие ускорения; для мышления Ньютона было характерным понятие ускорения и тяготения; в современной оптике — понятие волн и т. д. Милль отрицал, что эти понятия отличаются от самих наблюдаемых

фактов; понятия есть копия фактов. Понятие, согласно Миллю, не дается *умом*, пока оно само не стало достоянием ума. Однако Уэвелл подчеркивал, что «понятия», которые ведут к новым индукциям, не навязываются нам наблюдаемыми фактами, а создаются активностью нашего ума, которая и строит эти новые понятийные схемы, используя в качестве материала языковой материал, или уже существовавший в нашем уме в течение некоторого времени, или же созданный с целью построить адекватную систему понятий. В то время как Милль снова и снова твердил, что общий закон существует в фактах и его нужно только заметить и прочесть, Уэвелл, наоборот, настаивает, что общий закон есть продукт человеческой активности: «Если, — пишет Милль, — факты правильно классифицируются под влиянием понятий, то это потому, что в самих фактах есть нечто, копией чего является понятие». Уэвелл же возражает: «Но это такая копия, которая может быть сделана только человеком, обладающим выдающимися способностями; это подобно тому, как человек не может переписать плохо сделанную надпись, чтобы она имела смысл, если он не понимает языка этой надписи».

Важным моментом во всякой индукции, совершаемой на основе наблюдаемых фактов, является изобретение нового понятия, которое связывает факты вместе и, по терминологии Уэвелла, «обобщает» («*colligates*») их. Введение нового понятия там, где наблюдаемые факты обобщены, выявляется тем, что всякая индукция сопровождается введением какого-либо нового словесного выражения или нового специального термина. Уэвелл говорит, что по крайней мере с этих пор к фактам постоянно применяется какой-либо термин или предложение, которые не применялись до этого времени. Кеплер установил, что Марс движется вокруг Солнца по «эллиптической орбите»; Ньютон утверждал, что планеты *тяготеют* к Солнцу. Эти новые термины — *эллиптическая орбита* и *тяготеют* — обозначают новые понятия, от которых зависит индукция.

Уэвелл подчеркивает, что история физики состоит не только в открытии новых фактов, но, что не менее важно, и в формулировке новых понятий. Он прямо говорит:

«История индуктивных наук есть история открытий, главным образом в той мере, в какой это касается тех фактов, которые приводятся в связь, чтобы образовать науку. Философия индуктивных наук есть история идей и концепций, посредством которых эти факты связываются».

Вопрос о том, называть ли индукцию, вроде кеплеровского закона эллиптических орбит, суммированием фактов или добавлением понятий, созданных нашим умом, в значительной степени является вопросом о словах. Очень трудно провести между теориями и фактами границу, из которой можно было бы исходить в каждом случае. В конце концов Уэвелл сам говорит, что факты являются не чем иным, как теориями, которые получили очень хорошее подтверждение и стали хорошо известными. Подчеркивая роль понятий, которые являются продуктами нашего ума, Уэвелл, конечно, испытывал сильное влияние кантианской философии. Мы уже упоминали, что, согласно Канту, наука создается посредством вставки наблюдаемых фактов в раму, создаваемую нашим рассудком. Кант считал эту раму вечной и не подверженной изменению, осуществляемому всяким прогрессом науки. Уэвелл верил вместе с Кантом в большое значение лингвистического материала, создаваемого нашим умом для продвижения науки, и сделал на этом пути очень много для лучшего понимания структуры науки и того, как наука развивается, но он в отличие от Канта считал, что создаваемые нашим рассудком понятийные рамки неизменны. Он скорее допускал, что они изменяются вместе с возрастанием «материала наблюдений», и был в этом отношении, вероятно, первым автором, который понимал рост и структуру науки в том смысле, в котором они понимаются в науке XX века.

Каково бы ни было происхождение этого взгляда, поучительно подчеркнуть огромное значение, кото-

рое имело введение новых понятий и терминов для продвижения науки в неизвестные области. Начнем опять с закона Кеплера. Мы наблюдаем последовательные положения какой-либо планеты на сфере и представляем их серией точек на куске бумаги. Если мы посмотрим на эти точки одновременно и опишем их словами, утверждая, что «все они могут быть соединены кривой, называемой эллипсом», то скажем ли мы больше того, что мы сказали посредством перечисленных положений? Можем ли мы вывести все положения планеты из наблюдаемых положений без введения понятия эллипса? Если под индукцией мы имеем в виду процесс, посредством которого из наблюдаемых положений мы выводим все другие положения, находящиеся между наблюдаемыми, то мы можем ввести индукцию через перечисление, некий вид интерполяции. Если же под индукцией мы имеем в виду создание в нашем уме уравнения эллипса и вычисление из этого уравнения всех положений, то мы можем ввести индукцию через создание понятий. Милль склонялся в известной степени к первому типу индукции, тогда как Уэвелл явно предпочитал второй.

Подобное формулирование альтернатив может породить спор, который практически никогда не разрешится; но мы можем легко показать огромную пользу «индукции через новые понятия» для развития науки. Если мы будем рассматривать движение планеты под влиянием только одного тела (Солнца), то орбита будет строго эллиптической и при этом не будет иметь значения, скажем ли мы: в качестве факта наблюдается, что все точки, через которые проходит планета, расположены на эллипсе или что понятие эллипса добавляется к положениям, которые являются единственными фактами. Примем, однако, во внимание третье тело (например, вторую планету) и зададимся вопросом, какой будет орбита первой планеты под влиянием гравитационного притяжения двух других тел. Если мы рассмотрим траектории, описываемые при этих условиях — при возмущениях, как говорят астрономы, — то не

найдем подходящей кривой, на которой они могли бы расположиться. В теории возмущений показывается, что мы можем описать эти положения посредством введения эллиптической орбиты, которая не находится в покое, а медленно вращается и перемещается в пространстве. Движение под влиянием возмущений может быть описано и вычислено, только если мы будем отправляться от понятия эллипса и если поставим вопрос, как эллипс должен двигаться, чтобы представить более сложное движение. Понятие эллипса, которое в простом движении планет было инструментом, нужным для того, чтобы сделать описание фактов простым и удобным, в теории возмущений становится инструментом, совершенно необходимым для решения проблемы «возмущенного движения», которое является бесконечно более сложным, чем простое движение планет, вытекающее из законов Кеплера.

Этот пример приводит нас к главному пути индукции, по которому мы можем идти от более простых к более сложным проблемам физики. Великий английский (точнее говоря, шотландский) физик Джемс Кларк Максвелл правильно сказал, что первым делом в стране неизвестного является выработать математические понятия, которые описывали бы неизвестную область как можно проще. Максвелл говорит:

«Первым процессом поэтому в эффективном изучении науки должен быть процесс упрощения и сведение результатов предшествующего исследования к форме, в которой ум может усвоить их. Результаты этого упрощения могут принять форму чисто математических формул или физических гипотез»¹.

Максвелл весьма настойчиво подчеркивает, что работа, выполняемая с помощью созданных в «чистой математике» кратких и изящных аналитических выражений, является существенной частью успеха физической науки. Если бы мы ограничивались формулами, создаваемыми элементарной математикой

¹ В статье Максвелла «On Faraday's Lines of Force», 1855.

или даже элементарным исчислением бесконечно малых, то понятия, необходимые для дальнейшего продвижения, выражались бы неуклюже и многословно.

В качестве примера динамической роли соответствующих математических или логических понятий мы можем привести роль понятия «ротор векторного поля». Если электрические заряды находятся в покое, то они порождают электрическое поле, подчиняющееся закону Кулона, который имеет ту же форму, что и ньютоновский закон тяготения; на расстоянии r от заряда E оно имеет напряженность E/r^2 . Такое поле выводится из электрического потенциала V ; напряженность является градиентом этого потенциала. Всякое векторное поле, являющееся градиентом потенциала, имеет то специфическое свойство, что его ротор равен нулю. Следовательно, уравнение «ротор поля равен нулю» характеризует электростатическое поле, поле, порождаемое покоящимися электрическими зарядами. Обращение ротора поля в нуль математически тождественно с существованием «потенциальной энергии», исходя из которой поле может быть вычислено как ее градиент. Введение понятия «ротор» для электростатического поля есть чисто математический прием, который позволяет формулировать законы весьма компактным образом, но ничего не добавляющий к нашему физическому знанию о таком поле, которое не содержится в законе Кулона относительно взаимодействия двух зарядов. Очень многие сказали бы, что введение такого сложного математического понятия, как «ротор», для описания такой простой вещи, как электростатическое поле, излишний каприз. Однако, когда Максвелл сделал свое обобщение, идя от электростатического поля к общему электромагнитному полю, он обнаружил, что главным инструментом его обобщения было понятие ротора. Он предположил, что в общем поле ротор больше не исчезает, как в статическом поле, а изменяется во времени. Гипотеза Максвелла могла бы быть сформулирована просто, с помощью утверждения, что ротор электрического поля пропорционален дифференциалу по

времени от магнитного поля. Это есть применение общей идеи, которую Максвелл сформулировал в приведенном выше отрывке. Эта же процедура открытия обобщений повторялась в науке многократно.

Один из самых замечательных примеров — теория тяготения Эйнштейна, обобщающая ньютоновскую классическую теорию тяготения. В 1908 году Минковский сформулировал выдвинутую Эйнштейном в 1905 году специальную теорию относительности с помощью понятия четырехмерного пространства и использования тензорного исчисления. В то время введение четырехмерного мира казалось только математическим трюком, придуманным для того, чтобы придать теории Эйнштейна такую форму, которая для математиков была изящной и даже волнующей, тогда как для физиков она казалась скорее темной, чересчур далекой от понятий обычного здравого смысла и содержащей излишние математические трудности. Некоторое время это было даже мнением самого Эйнштейна. Как мы знаем из изучения теории относительности, специальная теория относительности касается только систем, которые движутся по прямой с постоянной скоростью. Ускоренное и вращательное движение рассматривалось Ньютоном и сначала даже и Эйнштейном как «абсолютное» движение. Однако Эйнштейн всегда старался обобщить принцип относительности для того, чтобы сделать его применимым к неравномерным движениям. Очень скоро он обнаружил, что первоначальная формулировка специальной теории, данная в традиционном изложении только с тремя пространственными и одной временной координатой, была настолько сложной, что было трудно увидеть, как можно достичь обобщения. Эйнштейн, однако, заметил, что в изложении Минковского с помощью четырехмерного многообразия специальная теория относительности была математически настолько простой, что ее легко можно было обобщить, чтобы распространить на ускоренное и вращательное движения. «Индукция», которая дала нам общую

теорию относительности, оказалось возможной благодаря изысканной и простой форме, которую «специальной теории» придало четырехмерное пространство — время Минковского.

Мы не должны, однако, вдаваться в подробный разбор трудных теорий новой физики; величайшим и самым драматическим примером полезности изысканной математической схемы является коперниковская теория планетной системы. Когда Коперник выдвинул свою систему концентрических орбит вокруг Солнца, все признали, что эта математическая схема намного превосходит птолемеевскую схему кругов и эпициклов вокруг Земли. Вместе с тем можно было сказать, и действительно говорили, что теория не может оцениваться только за ее математическую простоту; она должна также оцениваться за ее приближение к истине. Если бы мы не обращали внимания на философскую истину как на проверку научной истины и ограничивались бы только последней, то мы оценивали бы сравнительную истинность научных теорий согласно их сравнительной полезности для развития знания. Мы предпочитали бы теорию, более удобную для обобщений, которые в свою очередь вели бы нас к теории, охватывающей больше наблюдаемых фактов. В то время как система Птолемея хорошо согласовывалась с движением планет, если не обращалось внимания на их взаимодействие, система Коперника оказалась хорошим началом для исследования того, как на круговые орбиты, например Земли, влияют силы тяготения, действующие со стороны других планет, например Юпитера. Когда эффект взаимодействия вычисляется на основе коперниковской теории, результат может, конечно, также быть истолкован и в птолемеевской теории путем исчисления орбит планет, имеющих отношение к Земле; но эти орбиты были бы настолько сложными, что практически они никогда не были бы найдены, исходя из птолемеевских эпициклов. Мы видим, что превосходство коперниковской системы основывается на ее особой пригодности для обобщения. Мы знаем, что эта большая пригодность

основывается на ее громадной математической простоте и изяществе. Теперь известно, что большая математическая простота сделала коперниковскую систему более совершенной не только благодаря таким ее эстетическим свойствам, как изящество, но также и благодаря динамическим качествам, которые делают ее пригодной для обобщения.

Из гл. 3 мы знаем, что если евклидова геометрия справедлива, то сумма углов плоского треугольника равна 2π (или 180°), или если углами являются α, β, γ , то дефект $\Delta = 180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma) = 0$. Мы знаем также значение кривизны пространства (C), которая является дефектом треугольника деленной на его площадь (a): $C = \Delta/a$. Математикам удалось вывести очень изящную формулу для C . Физики не приписывали большого значения этой формуле, потому что в евклидовом пространстве — а всякое пространство рассматривалось как евклидово — C было всегда равно нулю. Однако эта формула, являвшаяся в евклидовой геометрии только математическим символом, который был интересен благодаря своему изяществу и простоте, стала главным инструментом для открытия и изложения общей теории относительности. Теперь можно было сформулировать основную гипотезу теории тяготения Эйнштейна посредством предположения, что кривизна четырехмерного пространственно-временного континуума должна быть пропорциональной гравитационным массам, находящимся в этом пространстве. Такая гипотеза никогда не была бы сформулирована, если бы физики не обладали формулой для C , которая была найдена усилиями математиков. Мы опять видим здесь то огромное значение, которое имеют удобные и простые математические формулировки познанных фактов для нахождения новых и более общих фактов. Дедукция, выраженная в адекватной математической форме, — необходимое основание индукции, которая дает нам новые обобщения и, следовательно, новые факты.

4. Понятия и операциональные определения

Мы видели — из анализа геометрии, законов движения, движения атомных объектов, нового языка атомного мира, причинных законов (гл. 3—10), — что результаты индукции могут быть проверены только опытом, если понятия, содержащиеся в ней, имеют операциональное значение. Понятие (например, длина) имеет операциональное значение, если ему можно дать операциональное определение. Это значит, что мы должны описать ряд физических операций, которые необходимо проделать, для того чтобы однозначно приписать понятию (например, длине какого-либо куска железа) в каждом отдельном случае определенное значение. Мы знаем, что длина зависит от температуры, давления, электрического заряда и других физических свойств. Со времени появления теории относительности Эйнштейна мы знаем, что длина тела «изменяется» со скоростью. Следовательно, описание операции, посредством которой мы измеряем длину, содержит также и операцию, с помощью которой мы сохраняем постоянными температуру, давление, скорость и т. д. Или, другими словами, операциональное определение длины содержит, строго говоря, также и операциональные определения температуры, давления, скорости и т. д. Для того чтобы знать, как измерить длину, сохраняя другие факторы — давление, температуру, скорость и т. д. — постоянными, мы должны знать очень много физических законов. Следовательно, всякое операциональное определение какой-либо индивидуальной величины, вроде «длины», должно приниматься «*cum grano salis*» и пониматься как приблизительное определение. Другими словами, только при «благоприятных» обстоятельствах может быть описан ряд операций, которые однозначно дадут операциональное определение единичной величины, вроде «длины» или, «временного промежутка».

П. У. Бриджмен произвел тщательное и глубокое исследование условий, при которых такие основопо-

лагающие понятия термодинамики, как «температура, теплота, механическая энергия и т. д.», могут быть определены с помощью ряда физических или вычислительных операций. Ясно, что никакое измерение температуры не может быть выполнено, если имеются большие изменения в пределах небольших пространственных расстояний и временных промежутков. Чтобы измерить тепло Q , передаваемое телу через некую поверхность, применим методы калориметрии. Затем мы должны предположить, что тепло «спокойно» течет сквозь поверхность, не вызывая скольконибудь значительного изменения в движении молекул в теле. С другой стороны, мы определяем механическую работу как произведение давления на приращение объема. Это соотношение правильно, конечно, в том случае, если нет никакого импульсного усиления или турбулентного движения масс в теле. Бриджмен пишет: «Только при совершенно исключительных условиях на практике может быть сделано четкое различие между потоком тепла и потоком механической энергии»¹. В качестве примера он берет оригинальную установку Джоуля для описания механического эквивалента тепла посредством подъема температуры ведра воды, которая приводится в движение лопатками. Превращение механической энергии лопаток в тепловую энергию представляет собой в известной степени явление деградации, связанное с преобразованием движения крупного масштаба в движение молекулярного масштаба. Бриджмен подчеркивает, что было бы трудно разложить то, что наблюдается, на теплоту или механическую работу; результат, безусловно, зависел бы от масштабов измерительных приборов. «Изучение самых общих условий, при которых различие потока тепла и работы имеет смысл, было бы, несомненно, весьма интересным, и, насколько мне известно, оно никогда не предпринималось». Хотя понятия, вроде потока тепла и работы, имеют опера-

¹ P. Bridgman, The Nature of Thermodynamics, Ch. I, p. 67.

циональное значение только при специальных спокойных условиях, они могут употребляться в наших постановках физических экспериментов как основные понятия; законы, управляющие действительными экспериментами, суть отношения между измерениями и справедливы только при тех спокойных условиях, при которых такие понятия, как теплота и работа, имеют свои операциональные значения. Если, например, мы применяем первый закон термодинамики к случаю с лопатками, то проводим ограничивающую поверхность вокруг области турбулентного движения «на таком расстоянии, что можно было бы явно различать тепло и работу». Затем первый закон говорит нам, что для циклического процесса увеличение тепла равно затраченной работе. С подобной ситуацией мы встречаемся во всех областях физики и фактически во всех областях науки. Все операциональные определения ограничены определенными спокойными или упрощенными условиями.

Мы можем даже пойти несколько дальше. Легко видеть, что практически операциональные определения не могут быть сформулированы в той области опыта, для которой мы не знаем физических законов.

Одним из главных возражений, которые были подняты против понятия «операциональное значение» с тех пор, как Бриджмен предложил его, является утверждение, что мы не можем, например, сформулировать операционального определения «длины», если не имеем хотя бы какого-либо понятия длины. Это возражение, по-видимому, будет иметь некоторую силу, если мы не исследуем более тщательно действительного построения операциональных определений. Начнем с примера временного различия между двумя моментами времени. Например, мы можем взять временной промежуток между началом и концом лекции, рассчитанной на один час. Операциональным определением этого часа является фиксация угла, пройденного стрелками висящих на стене часов. Угол, пройденный большой стрелкой, равен четырем прямым углам (360°). Это, однако, произвольное определение.

Мы должны быть уверены, что часы во всех других аудиториях показывают одно и то же время, что личные часы преподавателя и студентов тоже показывают одно и то же время. Приводятся ли часы в движение посредством гирь или действием упругих пружинок — это не столь уж существенная разница. Это показывает, что операциональное определение часа посредством угла, проходимого стрелками, имеет практическое значение только в том случае, если часы всяких размеров и систем показывают одну и ту же длительность времени. Но так получается, однако, только в том случае, если существует физический закон, который связывает колебания маятника под влиянием силы тяжести с колебаниями волосковой пружины под влиянием упругости. Это закон механики. Кроме того, все механические часы дают определение временного промежутка, позволяющего нам весьма простым способом формулировать законы распространения света или электромагнитных волн. Следовательно, пространственные расстояния, проходимые светом, тоже могут использоваться как операциональные определения временного промежутка. Полезность всех этих операциональных определений времени основывается на том, что равные отрезки времени остаются равными, какое бы операциональное определение времени ни использовалось. Было бы поэтому ошибочно говорить, что у нас есть первичное понятие времени и что мы изобретаем операциональные определения для того, чтобы измерять это время. Основными фактами являются действительно тождественные результаты измерений посредством разных операциональных определений, которые позволяют нам воспринимать какой-то отрезок времени не как определяемый с помощью какого-то специального операционального определения, а с помощью большого класса определений, включающих в себя определения весьма различных типов.

Однако многие философы и даже ученые стали бы возражать и утверждать, что, кроме всех этих определений посредством физических операций, существует еще и непосредственное ощущение времени;

с помощью определенного психического процесса мы способны определить, сколько прошло времени в течение лекции. Мы можем субъективно сравнить это время, определяемое нашим сознанием, с длительностью, приписываемой этой же лекции пружинными часами, часами с маятником или распространением света. Некоторые авторы склонны считать, что длительность временного промежутка определяемого путем непосредственного наблюдения, есть «естественная» его длительность, тогда как операциональные определения с помощью часов различных конструкций являются искусственными. Если мы, однако, постараемся вникнуть в этот вопрос глубже, то скоро признаем, что определение временного промежутка нашего субъективного ощущения времени действительно является одним из нескольких возможных операциональных определений. Если в качестве измерительного инструмента рассматривать человека, то следует сказать, что оценка временного промежутка, его реакция на переживание часовой лекции, точно соответствует показанию стрелки на циферблате механических часов. Существуют различные методы субъективных определений времени подобно тому, как существуют и разные типы механических часов. Определение продолжительности лекции может быть основано на степени скуки, овладевшей аудиторией, на степени физического утомления, голода, жажды или томления по приятной компании. Полезность механических часов выводится из их «согласия» с «субъективным» определением времени. Если бы студенты оказались не утомленными лекцией в такой мере, которая соответствовала бы часовой длительности по механическим часам, то операциональное определение по этим часам не имело бы практического значения. Следовательно, все операциональные определения интервалов времени, объективные и «субъективные», имеют смысл только в том случае, если два интервала, равные по одному определению, приблизительно равны также и по другому. Эти равенства, конечно, верны благодаря специфическим законам движения. Пока часы с маятником совершают определен-

Но́е число колебаний, определенное количество жидкости вытекает из контейнера, самолет или луч света проходит определенное расстояние и т. д. Однако выполнимость этих определений основана также на законах физиологии и психологии. В то время как стрелки пружинных часов проходят определенный угол, человеческое сердце выполняет определенное количество биений и присутствующие на лекции слушатели до известной степени утомляются. Из всего этого следует, что операциональные определения «временного промежутка» не предполагают предварительного существования «мысленного понятия временного промежутка». Скорее можно было бы сказать, что «мысленное» понятие временного промежутка есть в такой же мере «операциональное определение», как и физическое. Последнее было введено только потому, что определение субъективной оценки времени оказалось для некоторых целей непрактичным. Мы не могли бы поставить условие, что лекция должна длиться только до тех пор, пока слушатели не утомятся до определенной степени или пока у них не произойдет одно и то же количество ударов сердца. Эти определения длины временного интервала были бы столь же практически удобными, как и определения посредством механических часов, если бы мы знали все переменные, от которых зависят утомление, скука и частота биений сердца, и если бы мы могли сохранять некоторые из них с постоянными значениями так же, как сохраняем постоянными температуру и давление, когда определяем длину. Мы могли бы в шутку сказать: если бы мы знали законы, с помощью которых можно было бы вычислять способности лекторов заинтересовывать различные аудитории, то могли бы использовать размеры скуки, испытываемой аудиторией, в качестве операционального определения промежутка времени.

Из всего этого ясно, что всякое изменение в нашем познании естественных законов должно создавать изменение и в операциональном определении, которым мы пользуемся. Мы знаем, например, что сжатие тел при движении приводит к изменению в операцио-

нальном определении длины; это определение должно теперь содержать скорость тела, длина которого подлежит определению. Точно так же новое знание того, как жара в аудитории действует на восприимчивость слушателей, влечет изменение в операциональном определении временного интервала по степени потери интереса, возникшей за это время. Из всего этого мы видим, что развитие операциональных определений очень тесно связано с нашим знанием физических законов.

5. Индукция с помощью интуиции и индукция через перечисление

В популярных изложениях современной философии науки мы часто встречаем утверждение, что существуют два разных и даже несовместимых способа установления общих законов природы: посредством индукции и посредством интуиции. Первый способ заключается в собирании серий наблюдаемых событий, в которых мы узнаем, что некоторые следствия событий снова и снова повторяются, как, например, периодическая смена света и темноты в опыте нашей повседневной жизни, траектория снаряда, после того как ему сообщена некоторая скорость, и т. д. На основе всего этого мы можем говорить, что под законом индукции имеется в виду утверждение, что после того, как однообразие следствий наблюдалось много раз без исключения или с немногими исключениями, это однообразие будет продолжаться всегда, если только условия в окружающей нас действительности не изменятся. Мы верим, что смена дня и ночи никогда не прекратится и что снаряд, выброшенный с определенной скоростью, всегда будет лететь по одной и той же траектории. Мы видим, что закон индукции в основном говорит то же, что и закон причинности. Наблюдая однообразия в природе, мы приходим с помощью индукции к утверждению естественных законов. Этот метод получения общих законов часто назывался в современном смысле слова научным, позитивистским, в противоположность

аристотелевскому способу получения общих законов из интеллигибельных, самоочевидных принципов.

Второй способ получения общих законов состоит из нахождения этих законов с помощью того, что можно назвать «интуицией», или «воображением», или, может быть, «догадкой», и проверки результатов этой интуиции путем сравнения результата с действительными чувственными наблюдениями. Как мы узнали выше (§ 3), Уэвелл считает этот способ таким, каким действительно пользовались в истории науки для открытия законов. Эта процедура ведет нас также от наблюдения единичных фактов к установлению общих законов, потому что представления о существовании общего закона не возникает до тех пор, пока не наблюдается некоторое количество единичных фактов. Ввиду этого данная процедура называется также «индуктивной», причем различаются два ее вида: первый — «индукция через перечисление», установление законов, исходя из наблюдения большого числа следствий из фактов, и второй — «индукция с помощью интуиции» или «воображения», открытие законов посредством создания «новых понятий» на основе относительно немногих наблюдений и подтверждения закона большим числом наблюдений.

Если согласиться с Уэвеллом, то можно было бы сказать, что новая наука, пожалуй, идет путем, похожим на путь древней науки (§ 1). Она отправляется от сравнительно небольшого числа действительных наблюдений и старается с помощью воображения или догадки установить простой закон, из которого эти наблюдения могут быть выведены. Если простота этого закона очевидна, то у ученого возникает уверенность, что из данного закона может быть выведено очень большое число и других наблюдаемых фактов. Работа по установлению очень большого числа наблюдений многого не дает для открытия закона, но она необходима для его оправдания и подтверждения. Мы принимаем научный закон, если он позволяет нам вывести из простой формулы большое число, по-видимому, бессвязных фактов наблюдения. Из того факта, что определенное следствие наблюдений мно-

гократно появляется, мы еще не можем получить научный закон. Здесь мы наталкиваемся на ту же трудность, что и в теории причинности. Никакой факт наблюдения полностью не повторяется; повторяются только отдельные компоненты комплекса наблюдения. Всегда встает проблема: каковы те компоненты, которые при их частом повторении позволяют сделать вывод о вечном однообразии. Если выбрасывается снаряд, то повторение начального положения еще не позволяет сделать вывод о том, что траектория также повторится; но если повторяются положение и скорость (быстрота и направление), то и траектория в целом повторится. Во всех таких случаях нам приходится иметь дело с физическим законом. Последовательность дня и ночи позволяет сделать вывод о постоянном повторении только потому, что мы рассматриваем это повторение как следствие физического закона, равномерного вращения Земли вокруг своей оси. В большинстве популярных книг и элементарных учебников тот тип индукции, в котором мы из частого повторения выводим постоянное повторение, называется индукцией. Рейхенбах называет ее индукцией через перечисление. Он настойчиво подчеркивает, что с помощью такого перечисления действительно может быть найден новый закон.

«Ученый, — пишет он, — который создает теорию, обычно руководствуется в своем открытии догадками; он не может назвать метод, посредством которого он пришел к теории, и может только сказать, что эта теория показалась ему правдоподобной, что у него было правильное предчувствие или что он интуитивно видел, какие предложения будут соответствовать фактам»¹. Как мы уже указывали в нашем вышеприведенном доказательстве (§ 2 и 3), Джон Стюарт Милль пытался показать, что новые теории могут быть найдены посредством индукции через перечисление; Уэвелл же, который тщательно исследовал происхождение теорий, был довольно критически настроен по

¹ H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, 1951, p. 230.

отношению к этим попыткам и приписывал новые теории «догадкам, предчувствиям и интуиции», если пользоваться словами Рейхенбаха. Милль описывал процедуру индукции следующим образом: «Мы наблюдаем, что каждое появление комбинации ABC сопровождается комбинацией abc , а каждая комбинация ABD — комбинацией abd . Наблюдая эту последовательность очень часто, мы делаем вывод, что D является причиной d , а d — действием причины D ».

Уэвелл же комментирует эту «индукцию через перечисление» или через многократное повторение одного и того же следствия: «Относительно этих методов, очевидно, следует заметить, что они берут как данное то самое, что наиболее трудно для открытия, — сведение явлений к таким формулам, как они нам представлены».

Он следующим образом относится к индукции, которая привела к открытию некоторых физических законов:

«Если мы посмотрим на факты траекторий путей, падающих тел, отраженных лучей, движений, химического анализа... то где мы должны искать наши ABC и abc ? Природа не представляет нам случаи в этой форме».

Уэвелл обращает наше внимание на то, что даже после того, как теории созданы, очень трудно бывает указать в истории науки на элементы ABC и abc . «Кто проследит, — пишет он, — эти формулы в истории наук, как они фактически развивались?» Выдающийся астроном Джон Гершель весьма настойчиво подчеркивал, что в научных открытиях важно прежде всего найти формулу; если найдена простая формула, которая охватывает широкое поле наблюдений, то для полной веры в правильность этой формулы не будет иметь особого значения то обстоятельство, что мы добавим большое число единичных фактов, которые могут быть выведены из этой формулы и окажутся истинными. «Без сомнения, — пишет Гершель, — такие выводы в высшей степени поучительны; но трудность в физике заключается в находении тако-

вых, а не в раскрытии их формы, когда они уже найдены».

Вера в возможность открытия посредством наблюдения огромного количества фактов часто рассматривалась как характерная черта позитивизма, или скорее «позитивистского» подхода к науке. Мне кажется, что это мнение основано на очень поверхностном изучении позитивизма и его философии науки. Если мы будем исследовать позиции ученых с позитивистскими тенденциями на рубеже XIX и XX веков, то, безусловно, найдем, что самой крупной фигурой этого периода был физик Эрнст Мах. В своей книге он развивает идеи об индукции, которые действительно очень похожи на идеи Уэвелла. Мах пишет:

«Психическая деятельность, при помощи которой получается новое познание и которую большей частью обозначают неподходящим именем индукции, есть не простой, а довольно сложный процесс. Прежде всего этот процесс не есть процесс логический, хотя логические процессы могут играть в нем известную роль как промежуточные и вспомогательные члены. Главная же работа при отыскании новых познаний выпадает на долю *абстракции и фантазии*»¹.

Тот факт, что в этом деле метод не может дать многого, подчеркивался самим Уэвеллом. В книге Маха мы найдем настойчивое, совершенно в духе Уэвелла, подчеркивание роли объединяющих и упрощающих идей в открытии новых научных законов. Мах пишет:

«Когда мы, руководимые интересами к связи фактов, направляем наше внимание на эти факты — все равно, даны ли они нам чувственно или фиксированы просто в представлениях... мы, в счастливый момент, можем вдруг усмотреть полезную, упрощающую мысль»².

Тесная связь между индукцией и интуицией подчеркивается в статье «Индукция и интуиция» («Induction and Intuition»), опубликованной шведским

¹ Э. Мах, Познание и заблуждение, стр. 322.

² Там же, стр. 322—323.

философом Алфом Ньюманом (Alf Nyman). Он пытается связать взгляд, изложенный шведским философом Хансом Ларсеном (Hans Larssen) в его книге «Intuition», с взглядом таких ученых, как Уэвелл, Гершель и Мах.

Хотя «индукция через перечисление» и не обладает главным значением для создания новых теорий, было бы весьма ошибочно заявлять, что «индукция через перечисление», основанная на повторении следований, не имеет никакого значения в науке. «Тот же самый ученый, — пишет Рейхенбах, — который открыл свою теорию с помощью догадки, излагает ее другим только после того, как увидит, что его догадка оправдывается фактами»¹. Рейхенбах употребил много усилий, чтобы показать, что метод такого оправдания основывается на повторении следований. Если теория предсказывает такое повторение, то принятие данной теории оправданно, если только действительно можно наблюдать большое число этих повторений. Чем больше наблюдается теоретически выведенных повторений, тем более вероятной является справедливость этой теории. Ханс Рейхенбах, может быть, упорнее всех старался вычислить вероятность теории, исходя из наблюдаемых повторений теоретически выведенных фактов. Он проводит ясное различие между *контекстом открытия* и *контекстом оправдания*. В первом индукция совершается путем изобретения (с помощью догадки) новых понятий, во втором — путем наблюдения повторяющихся фактов. В то время как первый процесс не может быть осуществлен посредством какой-либо схемы или метода, второй совершается с помощью метода «индуктивного вывода». Если мы отправляемся от наблюдаемых положений планет на сфере, то можем обнаружить ньютоновские законы движения посредством интуиции или догадки. Однако когда мы уже знаем ньютоновские законы, то можем задаться вопросом, в какой мере эти известные законы подтверждены и стали на основе на-

¹ H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley University of California Press, 1951, p. 230.

блюденных фактов правдоподобными. Мы должны перечислить как можно больше фактов, которые могут быть выведены из законов и проверены наблюдением. Чем больше число наблюдений с положительными результатами, тем более вероятной делают нашу теорию эти выведенные факты. По этой причине изучение индуктивного вывода относится к теории вероятности. Было бы неправильно верить в близкую аналогию между дедукцией и индукцией: факты выводятся просто из теории посредством дедукции, а теория не может быть просто выведена из фактов посредством индукции. «Факты наблюдения, — писал Рейхенбах, — могут сделать теорию только вероятной, но никогда не сделают ее абсолютно достоверной». В то время как заключения, обусловленные правильностью какой-либо известной теории, с достоверностью могут выводиться с помощью процедуры дедуктивной логики, новые теории основываются на «принципе индукции», который утверждает, что если в длинной серии событий определенное событие многократно повторяется с определенной частотой (например, одно очко, если мы бросаем игральную кость), то приблизительно эта же частота сохранится и в будущем. Это простейший тип предсказания посредством индуктивного вывода, и называется он, как мы уже говорили, индукцией через перечисление. Тогда, конечно, встает вопрос, может ли всякий индуктивный вывод сводиться к индукции через перечисление. Именно таково было мнение Милля. Рейхенбах прямо утверждает, что все формы индуктивного вывода сводимы к индукции через перечисление и даже что возможность такого сведения может быть доказана. Правильность этого заявления не очень очевидна, потому что мы легко можем привести отдельные примеры индуктивных выводов через перечисление, которые привели бы к ложным результатам. В течение столетий европейцы знали только белых лебедей, и было естественно сделать индуктивный вывод, что «все лебеди белые». Но однажды в Австралии были открыты черные лебеди; индуктивный вывод привел к ложному заключению. Должны ли мы сказать, что

этот принцип ложен или по крайней мере что он не может быть применен в каждом отдельном случае? Рейхенбах пытается показать, что принцип индуктивного вывода применялся неправильно и чересчур упрощенным образом, но что самый принцип правилен. Он писал:

«Совершенно бесспорно, что другие виды птиц показывают огромное разнообразие цветов среди их индивидов; так что логик должен был бы возражать против вывода на том основании, что если цвет варьируется среди индивидов этих видов, то он может также варьироваться и среди лебедей».

Индуктивный вывод через перечисление можно было бы сформулировать так: мы многократно наблюдаем, что индивиды определенного вида имеют разные расцветки, и в связи с этим делаем вывод, что так должно быть и во всех видах. Этот пример показывает, что одна индукция может быть заменена другой. Действительно, все индуктивные выводы делаются не в изоляции, а в сети многих индукций.

Это заявление о сводимости к индукции через перечисление ведет, конечно, к очень простой гипотезе о том, как могут строиться индуктивные выводы очень простых типов. Однако мы все-таки еще очень далеки от действительного знания «метода индуктивных выводов», который вел бы нас от наблюдений за планетами к ньютоновскому закону движения.

Глава 14
СПРАВЕДЛИВОСТЬ ТЕОРИИ

1. Индукция и статистическая вероятность

Используя способ выражения Рейхенбаха, мы ставим теперь вопрос: каким образом путем проверки наблюдением заключений, выведенных из данной теории, можно найти «вероятность» этой теории, или, точнее, вероятность справедливости (правильности) этой теории. «Индуктивный вывод» есть метод, посредством которого эта вероятность вычисляется с большей или меньшей точностью. Однако мы всегда должны помнить, что во всяком значимом научном рассуждении мы должны употреблять только такие понятия, которые имеют «операциональное значение» (гл. 13, § 4). Следовательно, мы должны установить операциональные значения выражений «вероятность» и «индуктивный вывод», прежде чем применять эти выражения в языке науки.

В обычном исчислении вероятности, как оно развилось в математической трактовке азартных игр, «вероятность события» определяется как «относительная частота» этого события, если мы рассматриваем его как член данной длинной серии событий. Если мы играем в кости и берем длинную серию бросаний, скажем n бросаний, то можем поставить вопрос о вероятности выпадания одного очка. Если это случится m раз из n бросаний, то относительную частоту этого события мы обозначим через m/n . Если по мере того,

как n увеличивается, частота стремится к значению p , то мы называем это значение «вероятностью» события. Вероятность выпадания одного очка, конечно, равняется $1/6$ ($p = 1/6$). Ясно, что никакая вероятность не может быть определена, если не рассматривать событие, о котором идет речь, как член серии, в которой частота стремится к пределу. Такая серия называется, по предложению Мизеса, «коллективом». Если мы возьмем утверждение «вероятность, что некто $X. У.$ умрет в следующем году, мала», то это утверждение будет иметь операциональное значение только в том случае, если мы будем рассматривать смерть $X. У.$ как члена данного коллектива; значение этой вероятности зависит от того, какой коллектив мы выберем. Если мы будем рассматривать $X. У.$ как члена коллектива, состоящего из всех людей на земле, то его смерть гораздо более вероятна, чем в том случае, если мы будем рассматривать его как жителя Соединенных Штатов, но один выбор столь же законен, как и другой.

Встает вопрос о том, имеет ли термин «вероятность» в предложении «теория Ньютона имеет определенную вероятность» то же самое операциональное значение, как и в предложении «вероятность выпадания одного очка на игральной кости равна $1/6$ ». Рейхенбах прямо утверждает, что в выражении «справедливость такой-то теории имеет некоторую вероятность» это слово имеет абсолютно то же значение, как и в предложении «вероятность выпадания одного очка на игральной кости равна $1/6$ ». Следовательно, согласно Рейхенбаху, справедливости каждой научной теории можно приписать числовое значение, которое может быть вычислено на основе экспериментальных подтверждений этой теории с помощью методов обычного исчисления вероятности. Он предлагает два метода исчисления вероятности теории, которые действительно соответствуют двум разным операциональным определениям. В первом, который он называет «вероятностью первого вида», он предлагает рассматривать в качестве основного коллектива совокупность всех наблюдаемых фактов, которые могут

быть логически выведены из теории: число этих фактов может быть n . Затем те факты, которые подтверждаются действительным наблюдением или экспериментом, могут быть выделены: их число может быть m . Тогда отношение $p = m/n$ есть относительная частота подтвержденных результатов теории и должна рассматриваться как «вероятность» теории в том же смысле, в каком $p = 1/6$ есть вероятность выпадания одного очка на игральной кости. В определении того, что Рейхенбах назвал «вероятностью второго вида», основным коллективом является совокупность определенной области наблюдаемых фактов (например, движений материальных тел), которые объяснялись с помощью совокупности теорий. Обозначим через n число всех фактов в этой области, которые действительно наблюдались. Некая индивидуальная точка (например, ньютоновские законы движения) позволяет из числа этих n фактов вывести m фактов. Тогда мы определяем отношение $p = m/n$ как вероятность ньютоновской теории движения.

Если мы попытаемся ответить на вопрос, является ли это определение, данное Рейхенбахом в отношении вероятности теории или гипотезы, «правильным определением», то ответ зависит от того, какой цели должно служить это определение. С научной точки зрения такое определение «правильно» в том случае, если определяемый им термин оказывается полезным для формулирования научных законов (см. гл. 13, § 4). Как мы уже знаем, операциональное определение полезно только в том случае, если имеются некоторые «операции», которые приписывают одно и то же значение определенной переменной, как, например, временной промежуток может быть определен маятниковыми и пружинными часами. Следовательно, если термин «вероятность теории» определяется операциями, описанными Рейхенбахом, то полученное таким образом значение p должно говорить нам кое-что также и о желании ученых принять теорию и называть ее «правильной». Р. Мизес, который много сделал для логического обоснования теории вероятности, категорически отрицал, что между рейхенбаховской

«вероятностью p » теории и желанием ученых принять эту теорию была тесная связь. «Следует заметить, — пишет Мизес в своей книге «Позитивизм», — что даже в далеких от точности обычных беседах физики едва ли когда-либо употребляют выражение, что такая-то теория обладает большей или меньшей вероятностью». Действительно, причины, по которым ученые принимают определенную теорию, очень мало связаны с «вероятностью» этой теории. Мы могли бы, если бы воспользовались преувеличенным примером метода Рейхенбаха, подумать, что теория состоит в непосредственном перечислении всех наблюдаемых фактов в той области, о которой идет речь. Если все эти факты действительно «наблюдены», то мы могли бы заключить, согласно Рейхенбаху, что теория обладает стопроцентной вероятностью, или что $p = 1$. Ученый, однако, не считал бы это перечисление приемлемой теорией, а скорее считал бы, что здесь вообще нет никакой теории. Теории, которые ученый склонен признавать, имеют упрощающий и объединяющий характер; они позволяют объяснить большое количество фактов с помощью немногих предложений, которые употребляются в качестве гипотез или аксиом. Мизес пишет о вероятности теорий:

«Физик судит о полезности, о возможном признании или отвержении теории на основании разных критериев, совершенно отличных от указанных выше; упомянем только об одном таком критерии: критерии, который требует оценивать теорию с точки зрения экономии мысли»¹.

Некоторые авторы были склонны говорить, что теории «должны» оцениваться согласно их «вероятности на основе наблюдаемого свидетельства». Дальше, однако, мы увидим (гл. 15, § 2 и 3), что оценка критерия для признания теории имеет смысл только в том случае, если мы указываем цель, для которой теория служит. В качестве примера возьмем

¹ R. Mises, *Positivism, An Essay in Human Understanding*, Cambridge, Harvard University Press, 1951, p. 131 и далее.

вероятность предположения, что «при бросании игральной кости выпадет одно очко». Если мы будем вычислять вероятность этого, согласно методу Рейхенбаха или ему подобному, основанному на исчислении вероятности, то получим результат $p = 1/6$. Это значило бы, что вероятность правильности этого предположения равна $1/6$, или около 16%. Однако, согласно способу выражения, который действительно употребляется в науке, можно было бы сказать на основе нашего опыта в бросании кости, что предположение, предсказывающее выпадение при каждом бросании одного очка, является просто ошибочным. Другой пример дает близкий сотрудник Мизеса, Хильда Гейрингер, которая пишет:

«Допустим, что кто-либо высказывает предположение H , что «всякий треугольник имеет один тупой угол». Для того чтобы проверить это утверждение, мы выбрали наудачу сотню треугольников и измерили их. Результат может быть тот, что H оказалось верным в семидесяти случаях и ошибочным в тридцати случаях. Тогда ученый, очевидно, сказал бы, что « H неверно», а не что оно «верно с вероятностью в 70%»¹.

Существует, однако, и другое возражение против применения обычного исчисления вероятности. Очевидно, что результат наших измерений треугольников во многом зависит от того способа, с помощью которого мы наудачу выбираем треугольник. Этот способ определяет «коллектив», в котором состоит треугольник. Треугольник может характеризоваться различными способами: первый способ может состоять в указании длины трех сторон — a , b , c ; второй — в указании одной стороны a и двух примыкающих углов β , γ . Если мы выбираем серию треугольников наудачу, то можем сделать это на основании предположения, что все значения a , b , c будут появляться с одинаковой частотой. Но мы можем также

¹ В статье «On the Probability of Hypotheses, Journal of Unified Science, Vol. VIII, 1938, p. 151 и далее.

построить наудачу взятую серию и на основе предположения, что все значения α , β , γ будут появляться с одинаковой частотой. Следовательно, нам придется иметь дело с двумя «коллективами», отличными друг от друга. Отношение треугольников с тупыми углами ко всему количеству треугольников не будет одним и тем же в обоих коллективах. Следовательно, «вероятность» предположения, что «всякий треугольник имеет один тупой угол», не определена однозначно и зависит от произвольного способа, с помощью которого мы определяем коллектив. По этой причине вероятность предположения, что всякий треугольник имеет один тупой угол, не может быть определена с помощью обычного исчисления вероятности. Согласно Хильде Гейрингер, ученый сказал бы: «Если предположение H формы «за B следует A » исследовано и оказывается, что в 10 из 100 случаев оно не находится в согласии с наблюдениями, то это предположение H ошибочно, а не является верным с вероятностью в 90%».

2. Статистическая и логическая вероятность

Рудольф Карнап сделал попытку определить «вероятность теории или гипотезы» более общим способом, основанным не на традиционном исчислении вероятности. Он отправляется от материала чувственных наблюдений или измерений, который он кратко называет данным эмпирическим свидетельством (e). Затем он делает допущение, что посредством воображения или догадки мы нашли гипотезу h , из которой выведены утверждения о наблюдениях. Если мы знаем e и h , то можем задать вопрос: какова вероятность, что h справедлива на основе материала наблюдений e ? Гипотеза h найдена или о ней можно догадываться на основе эмпирического свидетельства e с помощью индукции. Целью Карнапа было установить математический критерий для степени, с которой h «оправдывается» через e (степень подтверждения). Эта степень интерпретируется так же, как «индуктив-

ная вероятность», что h оправдывается на основе свидетельства e , или, другими словами, вероятность, что индукция, которая ведет от свидетельства e к гипотезе h , есть справедливая индукция. Значением термина «индуктивная вероятность» является не «статистическая вероятность», употребляемая в обычной интерпретации вероятности в утверждениях, которые встречаются в статистических теориях физики и генетики. В последнем случае термин «вероятность» употребляется в смысле относительной частоты. Как мы уже говорили, излагая взгляды Рейхенбаха и Мизеса, было бы, по-видимому, весьма сложным и искусственным делом приписывать статистическую вероятность справедливости научных гипотез. Карнап предложил употреблять термин «статистическая вероятность» в тех случаях, в которых мы можем утверждения вероятности свести к утверждениям об относительной частоте, а в других случаях употреблять новый термин «индуктивная вероятность». В этой терминологии утверждение, что «индуктивная вероятность гипотезы h на основе некоего свидетельства e высока», значит то же самое, что и высказывания: «свидетельство e подтверждает гипотезу h с высокой степенью» или «степень подтверждения высока». Понятие «индуктивная вероятность», или «степень подтверждения», есть, как его вводит Карнап, чисто логическое понятие. Оно поэтому также называется «логической вероятностью». Истинность утверждения об индуктивной вероятности гипотезы h на основе свидетельства e не зависит от истинности e и h , так же как в дедуктивной логике истинность утверждения « e имплицирует h » не зависит от истинности h и e .

Карнап делает попытку построить «индуктивную логику», которая во многих отношениях аналогична дедуктивной логике. Он дает следующий пример этой аналогии. В дедуктивной логике наблюдаемое свидетельство e может быть: «Все люди смертны, Сократ — человек». Из этого свидетельства мы можем сделать заключение h : «Если так, то Сократ — смертен». Это заключение может быть выведено и без знания того, верно ли, что все люди смертны и что

Сократ — человек. Нам нужно только знать логическую структуру свидетельства и законы заключения (или логическую импликацию). В этом случае элементарное утверждение дедуктивной логики гласит: «*e* имплицирует *h*». Аналогичный пример в индуктивной логике начинался бы с наблюдаемого свидетельства *e*, что «число жителей Чикаго — три миллиона, два миллиона из них имеют черные волосы и *b* есть житель Чикаго». Используя правила индуктивной логики, мы сделали бы вывод, что индуктивная вероятность гипотезы *h*, что *b* имеет черные волосы на основе свидетельства *e*, равна $\frac{2}{3}$. Истинность этого вывода не зависит от того, верно ли, что в Чикаго три миллиона жителей, два миллиона из которых имеют черные волосы, и от того, верно ли, что *b* есть житель Чикаго. Точно так же правильность высказывания «*e* имплицирует *h*» зависит только от правил импликации, а не от истинности свидетельства *e*.

Чтобы наиболее легким способом сформулировать общее определение Карнапа, надо, может быть, начать с этого примера с жителями Чикаго. Данное свидетельство *e* определяет область людей *b*, являющихся жителями Чикаго. Гипотеза *h* определяет область людей *b*, которые имеют черные волосы. Из свидетельства следует, что эти две области (жители Чикаго и люди с черными волосами) имеют общую область, которая определяется людьми, являющимися жителями Чикаго и имеющими черные волосы. Если *s* есть утверждение формы «*b* имеет определенное свойство *pr*», то функция $m(b)$, приписываемая свойству *pr*, есть положительное число, «мера» области, которая содержит всех людей *b*, имеющих свойство *pr*. Тогда $m(e)$ есть область всех людей *b*, являющихся жителями Чикаго, тогда как $m(h)$ есть область всех людей *b*, имеющих черные волосы. Логическая конъюнкция $h \cdot e$ утверждает, что человек *b* есть житель Чикаго и имеет также черные волосы. Тогда $m(h \cdot e)$ есть область всех жителей Чикаго, имеющих черные волосы. Таким образом, на основе свидетельства *e* ясно, что $m(h \cdot e)/m(e) = \frac{2}{3}$, и понятно, что Карнап определяет свою индуктивную вероятность *l* гипо-

тезы h на основе свидетельства e посредством $i = m(h \cdot e)/m(e)$. В то время как $m(s)$ есть функция одного предложения s , индуктивная вероятность $t = m(s, r)/m(s)$ есть функция двух предложений свидетельства e и гипотезы h .

В примере, с которого мы начали, мера $m(e)$ есть просто число жителей или число людей с черными волосами. Вообще $m(e)$ есть мера всех наблюдаемых фактов, которые наша гипотеза h должна объяснить. Как мы знаем из нашего обсуждения причинности (гл. 11 и 12), каждый результат наших наблюдений физической системы может быть описан путем приписывания динамическим переменным системы конкретных значений, или, другими словами, путем описания «состояния системы». Для нашего простого примера «состояние» было описано числом жителей и «область всех возможных» состояний был описан посредством всех возможных чисел жителей, то есть посредством всех положительных целых чисел. «Область всех возможных состояний физической системы» описывается посредством систем всех возможных значений динамических переменных. В то время как в нашем простом примере «область» свидетельства есть определенная область среди положительных целых чисел, область свидетельства для главной физической системы дается как определенная область динамических переменных. Свидетельство e характеризуется определенными значениями, которые приписываются динамическим переменным, как результат действительных наблюдений. Гипотеза h характеризуется определенными значениями, которые приписываются динамическим переменным как результат логического отклонения от системы принципов.

Мы легко поймем эти общие соображения с помощью простого примера. Свидетельство может состоять из наблюдений положений материальной точки на плоскости. Тогда «областью» единичного наблюдения является площадь небольшого круга вокруг точки, потому что мы всегда должны иметь в виду, что благодаря ошибкам наблюдения единичное наблюде-

ние никогда не дает геометрической точки, а дает небольшую площадь вокруг точки. Если мы проведем число N наблюдений, то сумма площадей, соответствующих числу N наблюдений, составляет «область свидетельства e ». В этом простом случае «мера свидетельства» $m(e)$ является суммой всех круговых площадей, полученных числом N наблюдений. Мы можем, например, рассматривать их как положения планеты во время ее движения вокруг Солнца. Как хорошо известно, Кеплер вывел из этого свидетельства гипотезу, что все эти положения имеют место на эллиптической орбите. Теперь мы можем поставить вопрос: какова вероятность гипотезы, построенной на основе свидетельства e , представленного нашим числом N наблюдений? Так как «мера» свидетельства дается суммой N круговых площадей, мера гипотезы h дается областью положений, выведенных из этой гипотезы. Если мы опять сделаем допуск для ошибки наблюдения, то эта область будет состоять из площади между двумя эллиптическими кривыми. Мера $m(h)$ равна площади между этими эллипсами. Круговые площади, соответствующие полученному наблюдением свидетельству e , могут иметь некую общую площадь — все равно, будет она или не будет в площади $m(h)$. В площади, которую они имеют сообща, конъюнкция $h \cdot e$ верна в каждой точке. Следовательно, вся площадь, которую они имеют сообща, дается посредством $m(h \cdot e)$ мерой конъюнкции $h \cdot e$. Тогда индуктивная вероятность гипотезы Кеплера дается, согласно Карнапу, выражением $i = m(e \cdot h) / m(e)$. Если N маленьких круговых площадей расположены таким образом, что вся площадь между эллипсами покрыта ими, то площади $m(e)$ и $m(e \cdot h)$ — одни и те же и индуктивная вероятность приближается к значению единицы. Вероятность гипотезы Кеплера приближается к достоверности. Вообще чем больше общая площадь экспериментального свидетельства и эллиптического пояса, тем больше индуктивная вероятность гипотезы Кеплера.

Однако мы не должны забывать, что гипотеза Кеплера представляет собой только очень простой

пример для исчисления индуктивной вероятности. Динамические переменные, которые употребляются для формулирования гипотезы, совершенно те же, что и употребляемые для экспериментального свидетельства: координаты материальных точек на плоскости. Однако утверждение становится бесконечно более сложным, если мы, например, зададим вопрос о том, какова индуктивная вероятность ньютоновских законов движения (законы инерции и т. д.). Главная трудность состоит в том, что из самих ньютоновских законов никаких положений материальных тел вывести нельзя без предположений о системе сил, действующих на тела, и о структуре тел (упругой, пластической, жесткой и т. д.). Трудно вычислить индуктивную вероятность ньютоновских законов, исходя из свидетельства, потому что это свидетельство зависит не только от этих законов, но и от большого разнообразия структурных влияний. Потому число динамических переменных было бы весьма большим. Мы знаем (из гл. 11 и 12), что закон причинности имеет практическое значение только в том случае, если число динамических переменных мало. Точно так же закон, определяющий индуктивную вероятность гипотезы в определенной системе, не имеет практического значения, если число динамических переменных в этой системе становится очень большим. По существу говоря, гипотеза, вроде законов Ньютона, не утверждает, какие состояния предполагаются, и не допускает вычисления формулы $i = m(h \cdot e) / m(e)$. Карнап пишет:

«Существует множество индукций в науке, которые ввиду их сложности делают применение индуктивной логики практически невозможным. Например, мы не можем применить индуктивную логику к общей теории относительности Эйнштейна»¹.

Это, однако, не является серьезным возражением против индуктивной логики. Как мы знаем из нашего изложения «причинности», этот закон не может быть

¹ R. Carnap, *Inductive and Deductive Logic, Logical Foundations of Probability*, Chicago, University of Chicago Press, 1950, p. 200; *The Usefulness of Inductive Logic*, Ch. 4, p. 349.

применен к ситуациям большой сложности. Задача «прикладной индуктивной логики» состоит в том, чтобы решить, являются ли ситуации, в которых исчисление $i = m(h \cdot e) / m(e)$ возможно, достаточно сложными, чтобы сделать их хорошим приближением к практическим ситуациям, или это исчисление применимо к ситуациям, которые не имеют практического значения.

Поскольку, согласно Карнапу, утверждения индуктивной логики — чисто логические, постольку они ничего не говорят о физических фактах, или, другими словами, они не являются результатами наблюдений. Они того же типа, что и формальная система геометрии, евклидовой или неевклидовой, пока не введены операциональные определения (вроде прямых линий или световых лучей). Чтобы высказать утверждения об индуктивной вероятности, которые могут быть проверены наблюдением, мы должны добавить операциональное определение термина «индуктивная вероятность». Если мы скажем, что «прямая линия представляет собой световой луч в вакууме» или «грань острого ножа», то тогда утверждение приобретает точное значение только в том случае, если мы представим операции, посредством которых произведем световой луч или острие ножа. Если мы говорим об операциональном значении «индуктивной вероятности», то должны говорить о том, какие действия вводятся утверждениями, в которых встречается термин «индуктивная вероятность». Карнап очень настойчиво подчеркивает мысль о том, что «сама индуктивная логика может высказывать утверждения об индуктивной вероятности, но имеет отношение к практическому применению ее теорем не в большей мере, чем чистая геометрия имеет отношение к применению геометрических теорем для целей навигации». В действительности, говоря точнее, мы знаем, что даже все утверждения о треугольнике из стали или дерева относятся в этом смысле к прикладной геометрии, или, употребляя более общий термин, к физической геометрии. Из обсуждения геометрии и механики мы знаем, что операциональные определения

сами всегда содержат термины, которые являются не символами, а словами нашего повседневного языка. Физические операции формулируются с помощью словаря, который не очень отличается от словаря, которым мы пользуемся для описания нашего обеденного стола. По этой причине изложение способа, каким мы применяем геометрию или механику на практике, само не является частью содержания геометрии или механики. Системы, которые мы называем геометрией или механикой, или теорией относительности, являются инструментами, которыми мы пользуемся для того, чтобы сделать нашу жизнь более приятной. Следовательно, их полезность в основном того же типа, что полезность любого орудия, будь это молоток, измерительная линейка, аэроплан или атомная бомба. Согласно Карнапу, это же относится и к системе индуктивной логики; эта система допускает только вычисление значений «индуктивной вероятности», которое достигается целью дедуктивных умозаключений в пределах системы. Он пишет:

«Анализ применения предполагает также некоторые допущения и понятия психологического порядка (например, касающиеся измерения предпочтения и оценки). Эта проблема и связанные с нею трудности относятся к методологии особой эмпирической науки, психологии оценки как части теории человеческого поведения, и поэтому их не следует считать затруднениями индуктивной логики»¹.

Теория индуктивной логики, согласно Карнапу, не может руководить человеческими решениями, если мы ограничим эту теорию «чистой логикой», правилами исчисления вероятности с помощью формулы $i = m(e \cdot h) / m(e)$. К этой теории мы должны добавить ясно выраженные правила действия, которые необходимы, если мы хотим сделать из этой теории систему советов относительно того, как действовать в определенной ситуации. Первое правило, сформулированное Карнапом, гласит: «Предположите, что произойдут события, которые имеют высокую степень i (индук-

¹ R. Carnap, *The Usefulness of Inductive Logic*, Ch. 4, p. 254.

тивной вероятности) на основе свидетельства e , и действуйте так, как если бы вы знали, что эти события достоверны». Если затем к правилам, которые говорят нам, как исчислять индуктивные вероятности, мы добавим «правила действия», то получим теорию, которая учит нас, как действовать в данной ситуации.

Поучительно сравнить эти правила действия с теорией, которую мы получим, если будем исходить не из «индуктивной вероятности», а из «статистической вероятности», которой пользуются в обычном изложении «исчисления вероятности» и его применения в науке. Как мы выше упоминали, определение «статистической вероятности» исходит из бесконечной произвольной серии, в которой каждое событие имеет определенную «относительную частоту», например выпадание одного очка в серии бросаний обычной игральной кости. В таком случае «относительная частота» называется «статистической вероятностью» этого события. В нашем случае вероятность p нашего очка есть, очевидно, $p = 1/6$. Мизес показал, что из его определения мы можем вывести все правила традиционного исчисления вероятности. С помощью этих правил из данного коллектива мы можем вывести другие коллективы и вычислить относительные частоты событий в каждой серии. Ясно, что ничего нельзя сказать о «вероятности индивидуальных событий». Бессмысленно задаваться вопросом о «вероятности» выпадания одного очка при индивидуальном бросании. Если мы хотим получить совет о том, как решать с помощью этого метода в каком-либо определенном случае, то мы должны добавить «правила решений», как делаем это в «индуктивной логике». Например, мы должны принять правило, гласящее, что нужно поступать, как если бы события очень высокой степени вероятности в пределах серии были практически достоверными событиями в индивидуальных случаях. Понятия «индуктивной» и «статистической вероятности» на первый взгляд кажутся коренным образом отличающимися друг от друга. Карнап пишет:

«Элементарное утверждение статистической вероятности фактично и эмпирично; оно говорит нечто о фактах природы и, следовательно, должно основываться на эмпирической процедуре»¹.

Исходя из этих утверждений, приписывающих некоему определенному событию конкретное значение (например, $p = 1/6$), мы должны различать теоремы математической теории вероятности. Карнап пишет: «Они говорят о связях между значениями статистической вероятности». Кроме того, он пишет:

«Элементарное утверждение индуктивной вероятности, например утверждение, приписывающее двум данным аргументам (e и h) конкретное число (i) как значение индуктивной вероятности, является или логически истинным, или логически ложным... Оно не зависит от случайности фактов, потому что оно ничего не говорит о фактах, хотя эти два аргумента (e и h) и относятся в общем к фактам»².

Однако если мы применяем оба понятия вероятности к одному и тому же конкретному случаю, то скоро замечаем, что оба понятия тесно связаны друг с другом; иногда бывает трудно даже отличать их друг от друга. Мы можем начать с простого утверждения: «Вероятность выпадания одного очка на этой игральной кости равна $1/6$ ». Это утверждение часто истолковывалось как типичный пример статистической вероятности. Оно, согласно этому истолкованию, говорит, что в длинной серии бросаний относительная частота одного очка будет $1/6$. Однако Карнап указал, что это утверждение может также истолковываться и как утверждение об индуктивной вероятности. Для этой цели мы будем рассматривать утверждение об относительной частоте как свидетельство и искать индуктивную вероятность гипотезы h на основе свидетельства e . Свидетельство e говорит, что относительная частота одного очка есть $1/6$. Затем мы исследуем гипотезу h , что следующее бросание нашей игральной

¹ R. Carnap, *The Usefulness of Inductive Logic*, Ch. 2, Sect. 10, p. 32.

² Там же.

кости даст одно очко, и задаемся вопросом: какова индуктивная вероятность этой гипотезы на основе свидетельства e ? Из определения индуктивной вероятности ($i = m(e \cdot h) / m(e)$) мы заключаем, что в примере $i = 1/6$, или, в словесном выражении, индуктивная вероятность, что следующее бросание дает одно очко, есть $1/6$. Мы приписываем индивидуальному событию (следующему бросанию) числовое значение вероятности. Если бы мы отождествили «вероятность» со «статистической вероятностью», то было бы, конечно, бессмысленно приписывать вероятность $1/6$ индивидуальному бросанию. Если, однако, мы приписываем этому единичному событию числовое значение индуктивной вероятности, то это не значит, что данное утверждение может быть проверено экспериментом. Утверждение «индуктивной вероятности» является утверждением не о доступном наблюдению факте, а о логической связи между данными утверждениями. В нашем примере оно говорит, что на основе наблюдавшейся частоты выпадания одного очка мы исчисляем вероятность индивидуального броска как $i = 1/6$. Карнап пишет:

«Понятие индуктивной вероятности применяется также в случаях, в которых гипотеза h является предсказанием относительно какого-либо конкретного события, например предсказанием, что завтра будет дождь или что при следующем бросании этой игральной кости выпадет одно очко»¹.

Если мы согласны с утверждением, что «индуктивная вероятность выпадания одного очка для какого-либо конкретного бросания есть $1/6$ », и принимаем правила решения Карнапа, то будем действовать совершенно так же, как если бы мы из опыта знали, что «статистическая вероятность» в длинной серии бросаний равна $1/6$. Ни утверждение об «индуктивной вероятности» индивидуального события, ни утверждение «статистической вероятности» в пределах длинной серии не дают прямо правила действия, если не до-

¹ R. Carnap, *The Usefulness of Inductive Logic*, Ch. 4, p. 30.

бавить операциональных определений, или, другими словами, правил решения.

В течение последних десятилетий, приблизительно с 1920 года, среди ученых и философов имело место расхождение относительно правильной «теории вероятности». В своей фундаментальной статье, написанной в 1919 году¹, Рихард Мизес выдвинул ряд принципов, из которых могло быть выведено все исчисление вероятности. В этой системе вероятность определялась как «статистическая вероятность», и автор твердо заявлял, что это — единственное понятие вероятности, совместимое с эмпирической и позитивистской концепцией науки.

Так как Карнап в течение всех этих десятилетий считался одним из главных защитников взгляда, который мы называем эмпиризмом и позитивизмом в науке и философии, его обвиняли в тяжелом преступлении, заключающемся в том, что он защищал, помимо статистической и эмпирической, еще и второе понятие вероятности. Конечно, главным принципом эмпиризма или даже логического эмпиризма, как понимал его Карнап, является принцип возможности верифицируемости или подтверждаемости. Строгие последователи статистической концепции вероятности сказали бы, что никакое утверждение, что конкретное событие наступит с определенной вероятностью, не может быть верифицировано. Следовательно, согласно доктринам логического эмпиризма, оно бессмысленно. Рассматривая возражения эмпиристов и позитивистов, Карнап пишет:

«Они могли бы, например, сказать: «Как может быть верифицировано утверждение, что вероятность дождя завтра на основе свидетельства, данного метеорологическими наблюдениями, равна $\frac{1}{5}$? Завтра мы будем наблюдать или дождь, или отсутствие дождя, но мы не будем наблюдать ничего, что может подтвердить значение $\frac{1}{5}$. Это возражение, однако, основано на неправильном понимании природы утверждений

¹ R. Mises, Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, «Mathematische Zeitschrift», Vol. 5, 1919.

индуктивной вероятности. Это утверждение приписывает значение $\frac{1}{5}$ не индуктивной вероятности завтрашнего дождя, а скорее определенному логическому отношению между предсказанием дождя и метеорологической сводкой»¹.

Карнап подчеркивает, что такое утверждение является чисто логическим и, следовательно, не нуждается в верификации посредством наблюдения завтрашней погоды. Карнап делает попытку выяснить эту ситуацию путем сравнения с дедуктивной логикой. Он начинает с предложения *h*: «Завтра будет дождь» и *j*: «Завтра будет дождь и ветер». В таком случае, говорит он, можно с достоверностью заключить на основе дедуктивной логики, что «*h* логически следует из *j*». Тогда даже самый строгий логический эмпирист не потребует, чтобы это утверждение было подтверждено наблюдением дождя. Согласно Карнапу, «утверждение «индуктивная вероятность гипотезы *h* на основе свидетельства *e* равна $\frac{1}{5}$ » имеет тот же общий характер, что и первое утверждение... Разница между этими двумя утверждениями сводится только к следующему: в то время как первое утверждает полную логическую импликацию, второе утверждает только, так сказать, частичную логическую импликацию»².

В то время как Мизес защищает исключительное употребление статистической вероятности, Кейнс и Джеффрис рекомендовали логическое понятие вероятности, которое в некоторых отношениях похоже на «индуктивную вероятность» Карнапа.

3. Какая же теория вероятности является справедливой?

Рихард Мизес и Ганс Рейхенбах строго придерживаются того мнения, что определение вероятности как относительной частоты является единственно удовлетворительной научной основой исчисления ве-

¹ R. Carnap, *The Usefulness of Inductive Logic*, Ch. 4, p. 30.

² Там же.

роятности и, более того, всякого рассуждения о вероятности. Очень многие ученые и философы согласны с этим взглядом и стали «частотниками». С другой стороны, многие авторы подтвердили свое согласие с Дж. М. Кейнсом и Г. Джефрисом и другими сторонниками логической вероятности. Мы должны поставить вопрос о том, что на самом деле имеет в виду утверждение, что частотная теория вероятности, или логическая теория вероятности, является справедливой. Имеет ли смысл утверждать, что частотная теория правильна в том смысле, в каком мы говорим о правильности волновой теории света? И Мизес и Карнап согласились бы с утверждением, что наша обычная концепция вероятности является туманной и что мы должны выкристаллизовать из нее ясно определенные понятия для того, чтобы пользоваться вероятностью в научных рассуждениях. Мизес утверждал, что единственным понятием, которое может быть точно определено и действительно использовано в науке, является его понятие относительной частоты, или статистической вероятности, тогда как авторы вроде Кейнса избрали другой процесс уточнения и создали понятие логической вероятности. Рудольф Карнап рекомендовал некий компромисс и предложил использовать процесс уточнения, который дает два конечных результата: статистическую вероятность и индуктивную вероятность. С научной точки зрения мы можем сформулировать суждение об этих понятиях только путем исследования критериев справедливости научных теорий. Мы должны исследовать научные теории, в которых имеет место понятие вероятности, и установить, какое из этих понятий более полезно. Мы можем, например, исследовать теории, вроде кинетической теории газов или электронов, или любые другие теории статистической физики.

Как мы неоднократно указывали, ни определение «индуктивной вероятности» Карнапа, ни определение «статистической вероятности» Мизеса не ведут ни к какому утверждению о единичных, доступных наблюдению явлениях, если к абстрактным определе-

ниям не добавляются «правила действия», или «операциональные определения». Однако если эти правила добавляются, то оба понятия вероятности ведут к одному и тому же утверждению о действиях. Если мы излагаем, например, кинетическую теорию газов, то наблюдаемые результаты не зависят от того, каким понятием вероятности мы пользуемся в нашем изложении. Если так, то почему Карнап не удовлетворяется применением частотной теории вероятности; почему он требует использования в изложении науки также и индуктивной или логической вероятности? Снова и снова он подчеркивает, что понятия науки должны быть как можно более близкими к понятиям обыденного здравого смысла. На языке повседневной жизни рассуждения о вероятности выступают в форме предложений, что завтра будет дождь или что в этом году будет война. Поскольку частотная интерпретация вероятности не позволила бы нам говорить таким образом, Карнап рекомендует ввести в науку два понятия вероятности, которые весьма различны по своему логическому статусу, но согласуются друг с другом в их применении к результатам физических экспериментов и наблюдений. Он усиленно подчеркивает, что изощренный философ может отказаться говорить о вероятности какого-либо конкретного события, но что профан никогда не сделает этого. Он приводит простой пример. Предполагается следующее: наблюдения показали, что некая определенная игральная кость симметрична, что шесть тысяч бросаний были проделаны с нею при обычных условиях и что в тысяче из них выпало одно очко. Если мы обозначим знаком h гипотезу, что в следующем броске выпадет одно очко, то, согласно Карнапу, «будет почти всеобщее согласие в отношении того, что индуктивная вероятность гипотезы h на основании описанного свидетельства будет (точно или приблизительно) равна $1/6$ ». Затем он добавляет поучительное пояснение:

«Правда, есть несколько теоретиков, которые откажутся сделать какое-либо заявление в терминах «вероятности» в отношении h , потому что, согласно их

концепции, утверждение вероятности в отношении единичного события бессмысленно... Однако человек с улицы и ученый-практик в лаборатории не столь скрупулезны. Если мы дадим им свидетельство e и спросим их, какова вероятность h , то подавляющее большинство не поколеблется дать ответ и подавляющее большинство ответов будет в хорошем согласии друг с другом»¹.

Небезынтересно отметить, что Карнап проводит различие между «теоретиком», с одной стороны, и «человеком с улицы» или «ученым-практиком в лаборатории» — с другой. Он считает, что «ученый-практик в лаборатории» пользуется тем же повседневным языком, что и «человек с улицы». Их речь определяет, должна ли теория быть принятой. Их речевые привычки в некоторых случаях рассматриваются как более относящиеся к делу, чем критика «теоретиков». Мы поймем, что это относится к делу, когда обсудим (в гл. 15, § 2) критерии признания теорий и место среди этих критериев согласия с обыденным здравым смыслом.

Чем тщательнее мы исследуем эти критерии, тем будет заметнее, как трудно в индивидуальных случаях различать, какая из двух альтернативных теорий стоит ближе к повседневному языку. Вовсе не достоверно, например, что принятие частотной теории вероятности действительно исключает употребление утверждений о вероятности в единичных случаях. Рейхенбах, который стал строгим «частотником», дал такую интерпретацию вероятностных утверждений о единичных событиях, которая согласуется с частотной теорией. Он начинает с замечания, что, строго говоря, утверждения о причинных связях в той форме, как они сформулированы здравым смыслом, не могут быть проверены каким-либо экспериментом или наблюдением. В случае утверждения: «если повернуть кран, то вода *должна* потечь» нет способа проверить на основе эксперимента, что она действительно

¹ R. Carnap, The Usefulness of Inductive Logic, Ch. 4, p. 235.

должна потечь. Это хорошо известно со времени Давида Юма. Рейхенбах, однако, писал: «Человек, который верит, что если он повернет кран, то вода должна потечь, приобрел хорошую привычку, поскольку его вера приведет его к правильным утверждениям о всеобщности таких событий»¹. Согласно Рейхенбаху, нечто подобное имеет место и в отношении вероятного утверждения о единичном событии, которое тоже не может быть подтверждено экспериментом. Он пишет: «Подобным же образом человек, который верит, что вероятность в 75% применима к единичному случаю, приобрел хорошую привычку». Если «вероятность» есть «относительная частота», то по строгому смыслу определения не существует никакой вероятности единичного события, но если кто-либо выработал привычку говорить о вероятности единичного события, то «его вера побудит его сказать, что из большого числа подобных случаев 75% будет иметь результат, о котором идет речь».

Мы снова отмечаем, что если мы ценим науку как руководство в действии, то нет разницы, считаем ли мы вероятность единичного события утверждением индуктивной вероятности или придерживаемся статистической вероятности и интерпретируем утверждения о вероятности единичных событий как хорошую привычку, а не рассматриваем их как доступные для подтверждения сообщения об эмпирических фактах. Если мы суммируем все эти соображения, то заметим, что на вопрос о том, справедлива ли частотная теория вероятности или логическая теория вероятности, нельзя ответить простым да или нет. Как мы скоро узнаем (гл. 15, § 2 и 3), ответ зависит от того, чего мы хотим достичь с помощью этой теории. Принятие одной из этих теорий вероятности зависит, например, от того, как мы оцениваем пригодность нашей теории для выбора между соперничающими научными теориями, такими, как волновая теория и корпускулярная теория света. Мы легко можем

¹ H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, Ch. XIV, p. 239.

заметить, например, что трудности, которые мы упомянули при обсуждении теории Рейхенбаха, возникают так же и тогда, когда мы применяем теорию Карнапа. Мы помним, что Мизес и Хильда Гейрингер возражали против того, что в теории Рейхенбаха говорилось: теория «верна с вероятностью в 70%», если 70% заключений теории подтверждается экспериментом. Однако мы знаем, что в действительных рассуждениях ученых та теория, которая не согласуется с опытом в 30% фактически выполненных экспериментов, называется ложной, или ошибочной. Мы приходим к тому же самому заключению, если применяем и индуктивную вероятность Карнапа.

Попытка избежать этих затруднений и выдвинуть радикально иной подход к вероятности гипотезы или теории была сделана Якобом Броневским. Его целью было формализовать критерий правильности теории, который защищался, например, Джоном Фредериком Гершелем и Вильямом Уэвеллом. Как мы помним, эти ученые и философы видели главное достижение теории в ее объединяющей и упрощающей способности. Чем проще теория по сравнению со сложностью охватываемых ею наблюдаемых фактов, тем более она вероятна. Если теория содержит полное перечисление всех наблюдаемых фактов, то теория имеет очень высокую степень вероятности, если воспользоваться определением вероятности теории, защищаемым Рейхенбахом и Карнапом. Эти определения в главном основываются на статистике наблюдаемых фактов, вытекающих из теории. Теория рассматривалась этими авторами как в высшей степени вероятная, если большое число выведенных из нее фактов действительно подтверждалось экспериментом и наблюдением. Однако Мизес и Броневский отвергли этот тип применения исчисления вероятности. Полезность теории для подлинной научной работы не может оцениваться только по согласию ее результатов с действительными наблюдениями; возможна теория, которая согласуется со всеми наблюдаемыми фактами, но представляет собой простую запись наблюдений и вообще не является теорией. Если

имеются две теории, которые дают одни и те же наблюдаемые факты, то ученый предпочтет ту, которая более экономична и более проста. Броневский сравнивает научную теорию с кодом, который служит нам для описания наблюдаемых фактов. Мы предпочитаем тот код, который оказывается более практичным и более эффективным. Для того чтобы совершенствовать код, мы стараемся систематически, говоря словами Броневского, «разлагать код на составляющие его символы и законы их соединения». Сотня с лишним химических элементов образует код, который позволяет нам описать химическое явление. Если мы разложим эти элементы на три вида элементарных частиц (протоны, нейтроны и электроны) и силы, действующие между ними, то получим код, который описывает, например, взаимодействие между водородом и кислородом таким образом, что из этого описания мы можем получить гораздо больше сведений, чем из любой теории, в которой кислород и водород сами встречаются как элементарные символы. Если взять теории, которые не находятся в явном противоречии с наблюдаемыми фактами, то Броневский называет теорию тем более вероятной, чем больше код этой теории разлагается на составляющие его символы и законы их соединения. Всякое признание спорной теории происходит в результате компромисса между критериями Рейхенбаха и Броневского: согласием с фактами и эффективностью кода (гл. 15, § 2).

Глава 15
ТЕОРИЯ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ОБЩНОСТИ

1. Роль причинности в науке XX века

Очень многие авторы подводят итоги достижений современной атомной физики следующим образом: до конца XIX века физика основывалась на принципе причинности, атомная физика XX века отказалась от этого принципа. Этот итог современной физики можно найти в писаниях биологов, психологов, социологов, философов, юристов, физиков и особенно в проповедях священников и в речах политических деятелей. Такая формулировка является, говоря несколько устаревшим языком, огромным упрощением. Было бы, однако, неверно отрицать, что это неправильное понимание, встречающееся за пределами физики, имеет своим источником поверхностное представление, которое физики часто использовали при формулировании обобщений того, что научно подтверждается. Если брать во внимание то критическое понятие причинности, которое развито в гл. 11 и 12, то можно сформулировать суждение о подлинном месте причинности в современной атомной физике.

Этот разбор причинности может показаться несколько длинным и даже педантичным. По сути дела, когда рассматриваются науки, основные положения которых установились на долгий период времени и испытывают только небольшие изменения, то известно

без всяких предварительных обсуждений причинности, как такая наука формулирует свои законы и применяет их к предсказанию будущего. Но когда в понятийной схеме науки происходят радикальные изменения, становится неясным, как формулировать понятие «причинный закон» или даже стоит ли его удерживать и сохранять в следующей фазе развития этой науки. Логический анализ геометрии стал важным и интересным только после того, как были созданы неевклидовы геометрии; и анализ ньютоновской механики Махом не обнаруживал своего настоящего значения, пока физики не приняли теории относительности Эйнштейна. По этим же причинам тщательный анализ причинности начал привлекать внимание и стал нужным только к концу XIX века, когда зарождалась современная атомная физика; это принесло радикальное изменение в законах движения, это выразилось в бурном развитии квантовой и волновой механики в XX веке.

Чтобы легче и точнее понять все это, может быть, лучше всего снова разобрать один из основных экспериментов атомной физики и переформулировать его с помощью терминов «причинный закон», «статистический закон» и «причинность». Мы говорим о прохождении электронов через две щели в диафрагме и о получении вспышек на экране, параллельном диафрагме. Этот эксперимент был подробно разобран в гл. 8 и 9. Начальные условия (или «причина») в этом эксперименте состоят из роя электронов (вообще — атомных объектов), которые испускаются источником и движутся в направлении, перпендикулярном к диафрагме и экрану со вспышками. Расстояние между щелями a , скорость электронов v и расстояние между источником, диафрагмой и экраном также относится, конечно, к начальным условиям. Если рой частиц оказывается плотным, то мы наблюдаем определенную картину полос с интервалами, которые могут быть вычислены с помощью математического правила, исходя из начальных условий эксперимента, особенно из a и v . Мы можем с уверенностью сказать, что везде, где эти условия созданы, будет сле-

довать определенная картина полос. Это, безусловно, есть причинный закон. Причина определяет действие однозначно, если под действием иметь в виду картину полос в целом. Это причинный закон с точки зрения наблюдаемых фактов. Ситуация изменяется, если рой частиц оказывается разреженным. Тогда картина на экране составляется из единичных вспышек, следующих одна за другой с длинными интервалами. Мы не можем предсказать эти единичные вспышки; мы можем предсказать только статистическое распределение, которое может быть проверено, в случае если имеется большое число попаданий.

Этот случай с частицами не является полностью отличным от случая прицельной стрельбы по мишени. Мы можем предсказать не точное положение попаданий, а только их статистическое распределение. Но здесь есть одно различие: посредством уменьшения дисперсии в начальных условиях, при которых происходит прицеливание, можно уменьшить дисперсию попаданий вокруг центра мишени. Однако, когда «атомные объекты» проходят через щели в диафрагме, мы никогда не можем добиться того, чтобы вспышки возникали в определенной точке мишени (экрана). Здесь ситуация совершенно такая же, как и в эксперименте с бросанием монеты. Как бы мы ни устанавливали начальные условия, при которых осуществляется эксперимент с атомными частицами, мы можем сделать только статистическое предсказание о «действии» нашей стрельбы атомными частицами через диафрагму. Можно сказать, что, хотя это и выглядит похожим на прицельную стрельбу по мишени, результат эксперимента больше похож на результат бросания монет. Короче говоря, в атомной физике наблюдаемые явления подчиняются причинным законам только в том случае, если поток атомных объектов оказывается очень большим; тогда картина на экране может быть однозначно предсказана. Расстояние между полосками является математической функцией начальных условий a и v . Подобная ситуация существует также и в эффекте Комптона; частота x -лучей изменяется

в результате столкновения с роем электронов. Это изменение может быть точно вычислено, исходя из начальных условий, но точного положения электрона нельзя предсказать. Частота спектральных линий, испускаемых атомом водорода, также может быть, согласно спектральной теории Бора, точно предсказана, исходя из начальных условий, но положения единичного электрона на его пути вокруг ядра нельзя вычислить. Частоты в спектре водорода, как и в эффекте Комптона, являются свойством схемы, создаваемой большим числом «атомных объектов», вроде электронов.

Все это говорит о том, что, поскольку речь идет о непосредственно наблюдаемых явлениях, ситуация в атомной физике существенно не отличается от ситуации в так называемой классической физике, например в ньютоновской механике. Исходя из наблюдаемых начальных условий, результаты могут быть предсказаны с достоверностью, если мы будем иметь дело со свойствами большого числа объектов; но мы наблюдаем непредсказуемые флуктуации, если наблюдаем явления малой плотности. Возвращаясь снова к хорошо известному факту, можно сказать: даже при прицельной стрельбе по мишени попадания не могут быть предсказаны, если мы выпускаем только небольшое число снарядов. Часто высказывалось возражение, что каждый единичный выстрел мог бы быть предсказан, если бы точно можно было знать начальные условия, но для этого нужен введенный Лапласом всеведущий разум, рассмотренный в гл. 12. Если наблюдателями доступных наблюдению фактов являемся мы, люди, то точные предсказания возможны только на основе большого числа случаев.

Если мы хотим понять разницу между ролью причинности в атомной физике XX века и в физике XIX века, необходимо исследовать аксиомы, отношения между символами и понятийные схемы, образующие основу этих двух физических теорий. Выше мы показали (в гл. 12, § 2 и 3), что основные уравнения ньютоновской механики дают изменения динамических переменных во времени (первые производные по вре-

мени) — $\frac{du_k}{dt}$ как функции значений u_1, \dots, u_n этих переменных в данный момент времени: $f_k(u_1, \dots, u_n)$. Эти переменные u_1, \dots, u_n являются компонентами координат и импульсов материальных точек. В теории поля (гл. 12, § 4) причинные законы имеют форму $\frac{\partial u}{\partial t} = F\left(x, y, z, t, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial z}\right)$, где $u(x, y, z, t)$ дает напряженность поля как функцию положения в пространстве и времени. С помощью значений u в данный момент времени ($t = 0$) величина $\frac{\partial u}{\partial t}$ определяет увеличение u в единицу времени и распределение u в будущие моменты времени в пространстве может быть вычислено посредством математических операций. Принцип причинности не утверждает, для какой переменной u имеет место причинный закон, а говорит только, что существуют такие переменные, которые обладают таким свойством. В гл. 8 мы показали, что в атомной физике математическая схема поведения систем в будущем состоит в том, что вводятся в рассмотрение амплитуды волн де Бройля. Начальные условия эксперимента могут быть сформулированы как пространственное распределение этих амплитуд. Эта математическая схема представляет собой в таком случае дифференциальное уравнение, которое позволяет вычислить будущие значения этих амплитуд, если даны их значения в настоящем ($t = 0$). Эти амплитуды известны в научной литературе по квантовой или волновой механике как шредингеровские волновые функции и обычно обозначаются через $\psi(t, x, y, z)$. Поэтому о них также говорят как о ψ -функциях. Эти функции подчиняются дифференциальному уравнению, имеющему форму причинного закона:

$$-\frac{\hbar}{2\pi i} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{8\pi^2 m^2} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + V(x, y, z) \psi,$$

где m есть масса частицы, движущейся в силовом поле потенциальной энергии.

Чтобы использовать этот закон для предсказания наблюдаемых явлений, необходимо к дифференциаль-

ному уравнению (символической схеме) добавить операциональные определения символов. В дифференциальном уравнении Шредингера функция ψ является в общем случае комплексной функцией от x, y, z, t . Если мы образуем «норму» ψ , то есть произведение ψ -функции на ее комплексно-сопряженную, то получим действительную функцию пространственных координат, обозначающую среднюю частоту «точечных» событий (то есть сцинтилляций) в единичном пространственном объеме вокруг точки с координатами x, y, z . Следовательно, посредством интегрирования уравнения Шредингера мы не можем предсказать единичное «точечное» событие в определенном месте пространства. Все предсказания наблюдаемых явлений представляют собой статистические законы, но принцип причинности каким-то образом выполняется, поскольку имеется динамическая переменная ψ , подчиняющаяся этому закону. Однако для наблюдаемых явлений причинного закона не существует, потому что операциональное определение ψ соединяет ее значение не с единичными точечными событиями, а со статистическим средним, вычисленным из большого числа точечных событий.

Если мы поставим прямой вопрос, действует ли принцип причинности в современной атомной физике, то не сможем ответить на него простым да или нет. Мы находимся в таком положении, как если бы нас спросили, сохраняет ли значение в неевклидовой геометрии (например, в геометрии Лобачевского) евклидова теорема, что «две прямые линии, которые во всех точках находятся на одном и том же расстоянии друг от друга, являются параллельными». Постановка такого вопроса не имеет смысла, потому что равноотстоящих прямых линий в неевклидовой геометрии не существует. Если начертить все точки, находящиеся на одинаковом расстоянии от данной прямой, то их нельзя будет соединить прямой линией. Точно так же и причинные законы ньютоновской механики не имеют смысла в атомной физике. В традиционной механике значения координат и скоростей в будущий момент времени (динамических перемен-

ных) определяются и предсказываются с помощью их значений в настоящий момент времени. И вопрос о том, сохраняется ли этот закон в атомной физике, не имеет никакого смысла. На самом деле положение и скорость не являются динамическими переменными. Нет такого состояния системы, которое описывается с помощью настоящих значений положений и скоростей; следовательно, мы не можем ставить и вопрос о том, определяются ли в атомной физике будущие положения и скорости с помощью значения в настоящий момент времени. Такого описания состояния не существует.

Однако, как мы показали в гл. 8 и 9, можно приближенно описать состояние атомного объекта путем приписывания ему положения и импульса с определенными разбросами, называемыми неопределенностью. Вместо введения одной частицы с некоторой неопределенностью координат можно ввести некоторый «рой» частиц с определенной дисперсией координат. Тогда, согласно настоящему параграфу, рой частиц будет иметь определенную дисперсию импульсов. Если мы обозначим дисперсию координат и импульсов через Dq и Dp , то из соотношения неопределенностей найдем, что $Dq \cdot Dp = h$. Это соотношение может быть получено из уравнения Шредингера, причинного закона, которому ψ -функция подчиняется. Мы знаем, что операциональное значение ψ связано с распределением частиц вокруг определенной точки x, y, z в пространстве и, следовательно, с дисперсией Dq . Мы не пойдем дальше в этом выведении, потому что зашли бы слишком далеко в дебри специальных математических тонкостей.

Для нас важно подчеркнуть следующий момент: если мы попытаемся подойти к объяснению «движения» атомного объекта с помощью движения роя действительных частиц, то найдем, что дисперсии в этом рое Dq и Dp не могут обратиться в нуль одновременно, поскольку $Dq \cdot Dp = h$. Необходимо также помнить, что это отношение не связано с какой-либо «философской» интерпретацией; оно выводится из тех принципов атомной физики, которые используются

для предсказания наблюдаемых фактов, рассматриваемых как эффекты атомных событий. В популярных изложениях мы очень часто читаем примерно следующее: электрон никогда не может иметь определенного положения, и, следовательно, будущее не может быть однозначно определено настоящим. На самом деле такое утверждение означает, что при подходе к атомным объектам с помощью роев действительных частиц дисперсии координат и импульсов в таком роде не могут обратиться в нуль одновременно.

Подводя итог обсуждениям о роли причинного закона в атомной физике, можно сказать: нет таких законов, с помощью которых можно было бы, исходя из каких-либо наблюдаемых начальных условий, предсказать определенные будущие положения материальных точек. Другими словами, нет таких динамических переменных, начальные значения которых не могли бы сохраняться в пределах столь незначительного допуска, что можно было бы достичь точной предсказываемости поведения единичных точек — событий в будущем. Если мы попытаемся ввести как некое приближение действительные частицы, то заметим, что дисперсии их координат и импульсов не могут быть уменьшены одновременно в начальном состоянии нашего атомного объекта. С другой стороны, мы должны понимать, что в атомной физике имеются переменные (вроде ψ), которые позволяют предсказывать будущие значения, если даны настоящие, но эти переменные связаны с наблюдаемыми точками — событиями посредством операциональных определений таким образом, что точное знание ψ в определенный будущий момент времени дает нам только статистическое знание будущих локализованных точек — событий.

Все эти соображения ведут к тому, что на вопрос о сохранении закона причинности в атомной физике XX века нельзя ответить простым да или нет. Имеет место постепенное изменение — детерминизм Ньютона и Лапласа, основанный на определении состояния, в котором как положение, так и скорость могут держаться в пределах узких допусков, должен быть заменен теорией дополнительности Бора, в которой неопре-

деленность, или дисперсия, положения предполагает определенный допуск импульса.

Бор весьма удачно говорит: «Точка зрения дополнительности может рассматриваться как рациональное обобщение самой идеи причинности»¹.

2. Научные критерии для признания теорий

После рассмотрения положений (гл. 14), которые относятся к области дедуктивной и индуктивной логики, мы собираемся закончить наше доказательство обсуждением признания теорий как некоей деятельности ученого. От логического мы обращаемся к прагматическому компоненту нашего доказательства. Этот компонент становится особенно важным, когда нам приходится иметь дело с теориями высокой степени общности, вроде теории относительности, теории дополнительности Бора, теории самопроизвольного зарождения (развития организмов из неорганической материи) и т. д.

Различие между логическим и прагматическим компонентами в изложении науки было тесно связано с появлением в XX веке новых идей, касающихся логической структуры науки.

В аристотелевской и схоластической традиции изложение науки основывалось на схеме, состоящей из двух элементов («диадическая» схема): действительный объективный мир и картина этого мира, даваемая ученым. Оба элемента рассматривались как согласующиеся друг с другом, подобно сходству между фотографией и ее оригиналом. Говоря терминами томистской философии, истина означает согласие человеческого интеллекта с вещами действительного мира. Этот взгляд сохранялся в различных философских школах до конца XX века.

Однако в конце XIX века Пирс предложил ввести в изложение науки скорее триадическую схему. Эта схема состоит из наблюдаемого объекта, творящего

¹ A. Einstein, *Philosopher-Scientist*, Vol. VII, p. 209, 210.

ученого и — как третьего элемента — знаков, которые ученый изобретает для того, чтобы дать свое изложение. Эта схема была принята в XX веке важнейшими направлениями в философии науки. В частности, триадическую схему приняли последователи прагматизма, логического позитивизма, операционализма и общей семантики. Она была ясно определена и разработана в «International Encyclopedia of Unified Science» Рудольфа Карнапа и Чарлза Морриса. Согласно их концепции, наука прежде всего исследует отношения между физическими объектами и знаками, или символами; результат называется «семантическим» компонентом науки. Отношения между символами составляют «логический» компонент. Более того, в качестве третьего компонента мы должны изучать отношения между ученым и его знаками, или, другими словами, отношения социальных и психологических условий, при которых работает ученый, к его теориям. Изучение этих отношений даст «прагматический» компонент. В своей обычной работе ученые принимали во внимание главным образом логический и семантический компоненты. Они принимают теорию, если она логически состоятельна и согласуется с наблюдаемыми фактами. Однако если нам приходится иметь дело с теориями очень высокой степени общности, то мы замечаем, что они не определяются однозначно посредством этих критериев. Мы должны также учитывать и прагматический компонент, или, другими словами, влияние психологических и социальных факторов на системы знаков, которые были созданы ученым как часть физического и психологического мира. Это приведет нас к тому, что теперь называется «бихевиористическими науками».

Среди ученых общим признанием пользуется положение, что с чисто научной точки зрения система суждений является приемлемой теорией, если и только если она правильна с логической точки зрения и если ее заключения находятся в согласии с наблюдаемыми фактами. Поскольку, однако, экспериментально могут быть проверены не все заключения,

то следует сказать, что теория является приемлемой в том случае, если ни одно заключение не расходится с экспериментом, учитывая при этом, что число испытаний достаточно велико. Для «науки в современном смысле» не имеет значения, какой тип понятий и какой тип отношений между понятиями встречается в суждениях теории, если только ни одно выведенное из теории заключение не расходится с наблюдениями. Конечно, всегда надо учитывать, что суждения теории состоят не только из отношений между основными понятиями (или основными символами), но также из «операциональных определений», которые связывают эти утверждения об основных символах с утверждениями о наблюдаемых фактах. Согласно этим критериям, теория (отношение между символами и операциональными определениями символов) подтверждается, если она находится в согласии с наблюдаемыми заключениями, проверенными с помощью действительных наблюдений. Но если теория подтверждена в описанном выше смысле, то нельзя еще заключить, что она справедлива; можно говорить только, что она *может* быть справедливой. Каким же критерием руководствуются ученые при выборе между несколькими теориями, которые могут быть справедливыми?

Вообще ученые утверждали бы, что среди нескольких теорий, выдвигающихся для объяснения определенной области наблюдаемых фактов, одна считается лучшей и получает общее признание. Если бы мы последовали совету Рейхенбаха (гл. 14, § 1), то сказали бы, что нужно принимать самую вероятную теорию. Согласно статистической теории вероятности, это значит, что должна приниматься та теория, которая обнаруживает больше согласия с наблюдаемыми фактами, чем другие. Однако это согласие не может считаться единственным критерием признания теории. Если бы это было так, то наилучшей теорией можно было бы считать простое описание фактов; но это вообще не было бы теорией. Как мы неоднократно упоминали, действительный прогресс науки всегда создавался с помощью критерия

экономии и простоты. Критерии Рейхенбаха и Карнапа, которые основывались, как и индуктивная логика Джона Стюарта Милля, на согласии с наблюдениями, должны быть дополнены критерием экономии и простоты, выдвинутым в истории науки такими людьми, как Уильям Оккам, Исаак Ньютон и Эрнст Мах. В XX веке важность критериев, других, чем критерий, говорящий о простом согласии с наблюдением, была подчеркнута Мизесом и Броновским (гл. 13).

Большинство современных ученых заявило бы, что из всех теорий, которые в состоянии объяснить одни и те же наблюдаемые факты, выбирается самая простая, но тут встает вопрос, как определить степень простоты. Если ограничиться понятием «математическая простота», то каждый скажет, что алгебраическое уравнение первой степени проще, чем уравнение второй или третьей степени. Теория Коперника вела к концентрическим кругам как геометрическому описанию движения планеты, соответствовавшему аналитическому описанию посредством единичных геометрических функций. Это описание было, конечно, проще, чем описание с помощью теории Птолемея, которое геометрически использовало «петли», аналитически представленные посредством рядов тригонометрических функций (ряд Фурье). В продолжение долгого спора между представителями волновой и корпускулярной теориями света одним из оснований для предпочтения корпускулярной теории был аргумент простоты. Корпускулярная теория математически приводила к дифференциальным уравнениям, описывающим движение частицы, сформулированным посредством ньютоновских законов движения. Эти законы ведут к обыкновенным дифференциальным уравнениям второго порядка. Волновая же теория вела к волновому уравнению, являющемуся дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка, которое должно решаться при ограничении пограничными условиями. В начале XIX века это было математической проблемой, гораздо менее простой, чем решение обыкновен-

ных дифференциальных уравнений. Таким образом, математическая простота могла быть призвана для решения вопроса в пользу корпускулярной теории. Это различие в простоте становилось, конечно, все менее и менее заметным по мере того, как развивалась теория дифференциальных уравнений в частных производных. Следовательно, ясно, что наше суждение о математической простоте теории зависит от состояния науки в определенный период. Существовали периоды, когда определенная теория считалась простой, если она избегала применения исчисления бесконечно малых и ограничивалась элементарной математикой.

Встает, конечно, вопрос: *почему* должны предпочитаться простые теории? Некоторые ученые говорят, что они предпочитают их потому, что простые формулы допускают более легкое и быстрое вычисление результата; они экономны, потому что сберегают время и усилия. Другие же говорят, что простые теории более изящны, более красивы; они предпочитают простые теории по эстетическим основаниям. Однако из истории изящных искусств мы знаем, что определенное эстетическое предпочтение есть результат определенного способа жизни, определенной культуры или общественного строя. Это же остается в силе и тогда, когда мы судим о красоте математической формулы. Очень многие ученые, имеющие хорошую математическую подготовку, являются энтузиастами эйнштейновской теории тяготения, потому что ее формулы чрезвычайно просты и красивы с математической точки зрения. Однако среди физиков-экспериментаторов и астрономов-наблюдателей мы найдем многих, которые скажут, что эти формулы чрезвычайно сложны и что едва ли стоит вводить такие сложные формулы для того лишь, чтобы вывести очень немногие и даже спорные факты.

Если мы посмотрим, какие теории действительно предпочитались из-за их простоты, то найдем, что решающим основанием для признания той или иной теории было не экономическое и не эстетическое, а скорее то, которое часто называлось динамическим.

Это значит, что предпочиталась та теория, которая делала науку более динамичной, то есть более пригодной для экспансии в область неизвестного. Это можно уяснить с помощью примера, к которому мы часто обращались в этой книге: борьбы между коперниковской и птолемеевской системами. В период между Коперником и Ньютоном очень много оснований приводилось в пользу как одной, так и другой системы. В конце концов, однако, Ньютон выдвинул свою теорию движения, которая блестяще объясняла все движения небесных тел (например, комет), в то время как Коперник, так же как и Птолемей, объяснял только движения в нашей планетной системе. Даже в этой ограниченной области они оставили без внимания «возмущения», происходящие благодаря взаимодействию между планетами. Однако законы Ньютона основывались на обобщении коперниковской теории, и мы вряд ли можем представить себе, как они были бы сформулированы, если бы он исходил из птолемеевской системы. В этом, как и во многих других отношениях, теория Коперника была более «динамичной», или, другими словами, имела большее эвристическое значение. Можно сказать, что теория Коперника была математически более «простой» и более динамичной, чем теория Птолемея.

Путем исследования действительно имевших место случаев выбора между теориями мы находим, что общим правилом является, по-видимому, то обстоятельство, что математически простые теории оказываются также и динамичными, пригодными для обобщений в такие теории, которые охватывают широкую область фактов. Выше мы привели два примера: теорию электромагнитного поля Максвелла и теорию тяготения Эйнштейна. Они ясно показывают, что математическое упрощение наблюдаемых фактов может привести к выдвиганию весьма общих теорий, согласно которым эти факты служат их следствиями, имеющими только весьма частное значение. Теперь стало ясным, что требованиями для признания той или иной теории в современном смысле являются «согласие с наблюдением» и «простота». Конечно,

остается вопрос, который не был затронут при установлении этих двух требований: какое из них более важно? На первый взгляд этот вопрос кажется праздным, но на самом деле имеется много случаев, в которых мы сталкиваемся именно с этим вопросом: если необходимо сделать выбор между теорией, которая находится в хорошем согласии с фактами, но очень сложна, и теорией, которая гораздо проще первой, но не согласуется так же хорошо с фактами, какую теорию следует выбрать? Если спросить ученого, то он, вероятно, ответит, что решающим является согласие с наблюдаемыми фактами и что «простота» имеет второстепенное значение. Но при более серьезном подходе к этим вопросам станет ясно, что такой ответ ошибочен. Ценность теории заключается, очевидно, в ее свойстве быть более простой, чем простая регистрация наблюдений. Безусловно, такой теории, которая находилась бы в полном согласии со всеми нашими наблюдениями, не существует. Конечно, такого полного согласия можно было бы достичь только путем простой регистрации наблюдений. Однако никто не считал бы такую регистрацию приемлемой теорией, хотя она и находится в полном согласии с наблюдениями. Для теории характерным является именно ее свойство быть более простой и краткой, чем регистрация наблюдений. Следовательно, признание теории всегда является результатом компромисса между требованием «согласия с фактами» и требованием «простоты».

Однако стоит более внимательно посмотреть на основания, по которым те или иные положения действительно принимались за теории, как сразу заметим, что согласие с фактами и простота — не единственные требования, предъявляемые к научной теории. Если мы вспомним, например, отношение к коперниковской теории Френсиса Бэкона, то заметим, что он предпочитает геоцентрическую (птолемеевскую) теорию потому, что она больше согласуется с обыденным здравым смыслом. Мы несколько раз рассматривали это требование и должны признать,

что в действительности существуют три требования, которые приняты учеными: согласие с наблюдениями, простота и согласие с опытом обыденного здравого смысла. Можно было бы сказать, что то, что считается «простотой» и «здоровым смыслом», является вопросом о социальных корнях теории. Имеется поэтому некоторое оправдание для ограничения «чисто научных» критериев критерием, требующим согласия с фактами. А «простоту» и «согласие со здравым смыслом» мы склонны рассматривать как социологические критерии. Но поскольку ученые в большинстве случаев фактически признавали их, то это привело к тому, что между строго научными и социологическими критериями трудно провести ясную разделяющую линию, если придерживаться только «прагматической» точки зрения.

3. Роль вненаучных оснований

Когда в XVII веке связь между наукой и философией была разорвана, «научная истина», казалось, стала основываться только на критерии согласия с фактами. Как мы показали в предшествующем параграфе, это не вполне так. «Простота» и «согласие со здравым смыслом» всегда играли свою определенную роль и вносили в решения ученых некоторые социологические и психологические основания. Если мы будем помнить, что основания этого рода всегда играли некоторую роль в науке, то не будем удивляться тому, что конец цепи, представляющий философию и связывающий «факты» и «принципы», никогда полностью не исчезал. Другими словами, наука никогда не ограничивалась только технологией. К ней, следовательно, всегда примешивались критерии, отличающиеся от «научных», понимаемых в узком смысле слова. Если мы снова вспомним старый пример, теорию Коперника, то легко увидим, что очень многие ученые и философы, признававшие, что эта система «математически проста» и находится «в согласии с фактами», все же отвергали ее по основаниям совершенно другого рода.

Хорошо известные факты свидетельствуют о том, что в качестве основания для того, чтобы признать теорию в течение многих веков, служила пригодность ее для оправдания желаемого поведения людей, или, коротко говоря, для оправдания морального поведения. В древности физика Аристотеля и Платона была, по-видимому, более пригодной в этом отношении, чем физика Эпикура. Согласно первой, небесные тела были созданы из более благородного материала, чем наша Земля, в то время как, согласно «материалистическому» учению Эпикура, все эти тела состояли из одних и тех же элементов. Однако, исходя из этого учения Эпикура, гораздо труднее проповедовать о наличии разницы между материальными и духовными существами. Так как очень многие деятели просвещения и государственные деятели были убеждены, что вера в эту разницу важна для воспитания хороших граждан, то эпикурейское учение было отвергнуто властью имущими группами. Поучительным примером этого служит Платон, который в описание «хорошего правительства» включил требование, чтобы последователи эпикурейской философии были лишены возможности распространять свое учение.

Другим историческим примером служит, конечно, борьба против учений Коперника и Галилея на том основании, что они делают более трудным и сложным делом сохранение физики Аристотеля. Закон инерции, например, затруднял допущение, которое делали Аристотель и св. Фома Аквинский, что никакое движение невозможно, если одно тело не приводится в движение другим телом. Это допущение использовалось в важном доказательстве существования перводвигателя, что в свою очередь было важно в доказательствах существования бога. Подобные примеры легко можно привести из современной науки.

Ученые и вообще люди с научным складом ума часто склонны были говорить, что эти «ненаучные» влияния на признание научных теорий есть нечто такое, что «не должно» иметь места; но, поскольку они

все-таки имеют место, необходимо понять их роль в логическом анализе науки. На очень многих примерах мы могли убедиться, что общие принципы науки определяются не однозначно наблюдаемыми фактами. Если же мы добавим требование простоты и согласия с здравым смыслом, то определение становится более узким, но не однозначным. Они все еще могут рассматриваться пригодными для оправдания желаемого морального и политического поведения. Все эти требования входят в определение научной теории. Твердое убеждение большинства ученых, что теория должна приниматься только «по научным основаниям», образует философию, которую они усвоили, будучи юными студентами, в тот период, когда начинали приобретать знание о мире; согласно этой философии, «истинная» теория дает нам «картину физической реальности» и эта теория может быть основана на наблюдаемых фактах. Если теория, построенная исключительно на основе ее согласия с наблюдаемыми фактами, говорит о мире истину, то было бы глупо принимать всерьез, что на признание какого-либо положения в качестве научной теории должны влиять такие факторы, как простота и согласие со здравым смыслом, не говоря уже о моральных, религиозных или политических факторах. Однако известно, что «согласие с наблюдаемыми фактами» никогда не выделяет какую-либо одну индивидуальную теорию. Никогда не бывает так, чтобы существовала только одна теория, находящаяся в полном согласии со всеми наблюдаемыми фактами, наоборот, всегда есть несколько теорий, находящихся в частичном согласии с ними. И мы должны выбирать окончательную теорию путем компромисса. Эта окончательная теория должна быть в хорошем согласии с наблюдаемыми фактами и достаточно простой. Если мы примем это во внимание, то станет ясно, что такая теория не может быть «истинной».

Однако это метафизическое понятие истинной теории как «точной копии физической реальности» не является преобладающим в современной научной

философии. Теория теперь считается скорее инструментом, который служит какой-либо определенной цели. Она должна быть полезной в предсказании будущих наблюдаемых фактов на основе фактов, наблюдавшихся в прошлом и наблюдающихся в настоящем. Теория должна также быть полезной в деле создания приспособлений, которые могут экономить наше время и труд. Научная теория представляет собой своего рода орудие, которое в соответствии с практическим планом производит другие орудия. Но научные теории признаются также и потому, что дают нам простую и красивую картину мира и поддерживают философию, которая в свою очередь поддерживает желательный образ жизни.

На вопрос о том, какую теорию следует признать, можно ответить только в том случае, если мы знаем, что́ следует предпочесть — предсказание фактов, создание приспособлений, красоту, простоту или пригодность для поддержки моральных и политических целей. Мы поймем это положение, если сравним его с вопросом о выборе самолета. Подобно тому как мы наслаждаемся красотой и изяществом самолета, так наслаждаемся мы красотой и изяществом теории, которая делает возможным сооружение этого самолета. Если мы говорим о каком-либо конкретном самолете, то бессмысленно спрашивать, является ли он истинным, в смысле совершенным. Можно только спросить, хорош ли он или совершенен для определенной цели. Если мы своей целью ставим скорость, то наш совершенный самолет будет отличаться от того, который считается совершенным в смысле прочности. Критерий совершенства будет снова другим, если своей целью поставим безопасность, маневренность или удобство для чтения и отдыха. Невозможно построить самолет, который удовлетворял бы всем этим целям в максимальной степени; мы должны достигнуть какого-то компромисса. Чтобы определить род компромисса, которого следует достичь, необходимо решить, что важнее: скорость или безопасность, маневренность или прочность? Ответ на этот вопрос, конечно, не может быть получен из

физики или инженерной науки. С точки зрения собственно науки цель произвольна; наука может только научить нас, как построить самолет, если нам зададут скорость и степень безопасности, которые должны быть достигнуты. Однако желательное отношение между скоростью и безопасностью зависит от моральных, политических и даже религиозных мнений. Компромисс зависит от подлежащих выяснению склонностей. Делающие политику власти с точки зрения собственно науки вполне свободны выбрать самолет, который должен быть пущен в производство, согласно их наклонностям. Однако, если мы посмотрим на это с точки зрения единой науки, включающей в себя и физическую и общественную науку, то поймем, как компромисс между скоростью и безопасностью, маневренностью и прочностью определяется социальными и психологическими условиями. Если выразаться несколько упрощенно и в полужутливой форме, то мы сказали бы, что компромисс определяется условными рефлексам политическими деятелей. Обусловленность может быть достигнута, например, посредством писания писем сенаторам. Если мы придерживаемся прагматической философии науки, то мы скажем, что выбор научной теории не отличается существенно от выбора самолета.

Мы можем задать вопрос, почему какая-либо определенная научная теория, например коперниковская теория движения планет или теория относительности Эйнштейна, была принята как истинная, или совершенная. Согласно вышеприведенным соображениям, на этот вопрос можно ответить только в том случае, если мы сначала ответим на вопрос, какой цели должна служить эта теория. Сводится ли она только к чисто технической цели предсказывать наблюдаемые факты? Или она служит для получения простой и изящной теории, которая позволит нам вывести большое количество фактов из простых принципов? Мы должны предпочесть теорию, которая соответствует нашей цели. Для некоторых групп людей главная цель научных теорий может заключаться в том, что они служат поддержкой в на-

саждении желательного образа жизни или в противодействии нежелательному образу жизни. Эти группы людей примут даже те теории, которые могут дать грубую картину наблюдаемых фактов, если только можно вывести из них картину мира, в которой человек играет роль, которую они считают желательной.

Не вдаваясь в подробности, мы можем сказать о различии между двумя главными целями теории: полезностью для создания приспособлений (технические цели) и для непосредственного руководства человеческим поведением. Действительное признание теорий всегда было компромиссом между техническим и социологическим значением теории. Последнее непосредственно влияло на поведение человека, потому что поощрялись специфические религиозные и политические взгляды, тогда как влияние техники на человеческое поведение скорее было бы не непосредственным — технические изменения приносят социальные изменения, которые проявляются в изменениях в человеческом поведении. Каждый знает о промышленной революции в Англии XIX века и о сопровождавших ее изменениях в человеческом поведении. Возможно, что развитие атомной техники в нашем XX веке произведет аналогичные изменения в человеческой жизни.

Очень многие ученые и деятели просвещения думают, что конфликт между техническими и социологическими целями научных теорий существовал в некоторые темные периоды истории и все еще существует в некоторых странах, но в значительной степени исчез с успехами науки, особенно свободной науки. Согласно этому мнению, теперь с помощью метода науки можно однозначно определить, какая теория является справедливой. Это мнение, конечно, ошибочно, если взять теории и посылки очень высокой степени общности. В физике XX века мы замечаем, например, что какая-либо отдельная формулировка принципов квантовой теории принимается или отвергается, смотря по тому, считают или не считают, что введение детерминизма в физику способствует желательным этическим поступкам. Многие деятели

просвещения и даже политические деятели были твердо убеждены, что «свобода воли» несовместима с ньютоновской физикой, но вполне совместима с квантовой теорией. Они были также убеждены, что является желательным, чтобы люди верили в свободную волю и оказывали определенное влияние в пользу индетерминистской формулировки субатомной физики. Они думают, конечно, о социологической цели науки, каковы бы ни были ее технические цели.

Эта двойственная роль научных теорий становится еще более очевидной в биологии. Чтобы проиллюстрировать отношение биологов к очень общим проблемам, можно в качестве примера рассмотреть вопрос о том, произошли ли живые организмы от неживой материи. Здесь мы найдем конфликт между технической и социологической целями теорий в наиболее ярком виде. Некоторые выдающиеся биологи говорят, что «самопроизвольное зарождение» в достаточной степени вероятно (например, Джордж Уолд, Симпсон), тогда как другие заявляют, что, согласно их вычислениям, эта вероятность почти равна нулю. Если исходить из строго научных положений, соответствующих методам математической физики, то можно легко доказать, что найти какое-либо надежное значение для этой вероятности нельзя. Одна группа ученых полагает, что биологические теории должны поддерживать человеческое достоинство, потому что иначе моральное поведение не могло бы основываться на науке. Это достоинство было бы уничтожено, если бы удалось установить, что человек происходит не только от обезьян, но даже из земли и камня. Другая же группа полагает, что допущение самопроизвольного зарождения укрепляло веру в единство природы как целого и тем самым также поддерживало моральное поведение человека.

Все эти соображения подтверждают, что о справедливости научной теории нельзя судить, если мы не приписываем этой теории какой-либо определенной цели. Достижение этой цели зависит от степени, в которой удовлетворяются различные критерии для признания теории, — согласие с наблюдаемыми фак-

тами, простота и изящество, согласие со здравым смыслом, пригодность для оправдания желаемого человеческого поведения и т. д. Следовательно, о справедливости теории нельзя судить на основе научного критерия в узком его понимании: критерия, требующего согласия с наблюдениями и логической правильности. После применения всех этих критериев все равно часто остается проблема выбора из нескольких теорий. Однако если под наукой иметь в виду не только физическую науку, но также и науки о человеческом поведении (психологию и социологию), то можно решать, какая из нескольких физических теорий достигает определенной человеческой цели наилучшим образом.

Подведем итог: проблема выбора между различными теориями физических наук не может быть решена в пределах этих наук, если мы имеем дело с теориями высокой степени общности.

Для ученого, который хочет достичь действительного понимания своей науки, возникают новые пути исследования. Мы вступаем в широкую область, которая охватывает науку как часть человеческого поведения вообще. Можно говорить о социологии науки, или о гуманистической основе науки, если надо дать этой новой области наименование, пользуясь нашей традиционной речью.

Изложенная в данной книге философия науки касается этого прагматического аспекта в главах о метафизической интерпретации науки (гл. 7 и 10).

Очень часто наука своими метафизическими интерпретациями служила непосредственным руководством для человеческого поведения. Наука своими техническими интерпретациями поддерживала механику, электротехнику или ядерную технику; своими метафизическими интерпретациями она служила тому, что иногда называлось инженерией человека. Говоря проще, можно сказать: «философия науки» в конце концов ведет к исследованию в области «прагматики науки», которая имеет дело со связной системой, содержащей как физические и биологические науки, так и науки о человеческом поведении.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абрагам Макс — 246.
 Августин св. — 212—124.
 Аквинский Фома — 74, 82, 84, 92, 172, 180, 517;
 критерии принятия принципа — 75, 76;
 для низшего типа истины — 227, 268;
 и теория эпициклов — 82;
 неподвижный двигатель — 176.
 Амальди Умберто — 162.
 Анакреон — 90.
 Аналогия — 62—65;
 аналогии обыденного здравого смысла и современная физика — 366—369;
 интеллектуальный характер закона инерции — 268—275;
 метафизические интерпретации атомной физики — 359—363;
 правдоподобность общих законов — 105—108;
 сущность естественных объектов — 65.
 Араго — 95—96;
 решающий эксперимент — 307—312.
 Аристотель — 87, 118, 121, 129, 160, 216, 517;
 аналогия между непосредственным чувственным восприятием и непосредственной интеллектуальной интуицией — 74;
 естественный путь исследования — 67, 70;
 от смешанных агрегатов к интеллектуальным принципам — 68;
 защита рабства — 88—89;
 изложение науки, основанное на «диадической» схеме — 509;
 механика — 175, 204—206, 268;
 аналогия между животными и вещами — 178—180;
 естественная система отсчета — 212;
 неподвижный двигатель (перводвигатель) — 179, 317;
 органическая точка зрения — 85—86;
 подчеркивание цепи движения — 184—185;
 проверка общих принципов — 446.
 Архимед — 90;
 рычаг — 106—107.
 Астрономия — см. Движение планет.
 Атомная бомба — 97.
 Атомная физика — см. также Движение, свет и относительность; Квантовая механика

- движение атомных объектов — 301—324;
 движение электрона вокруг ядра — 184, 362;
 законы движения для квантов света 315—319;
 законы движения для очень малых частиц — 319—324;
 законы Ньютона и световые лучи — 303—306;
 положение и импульс частицы — 334—339;
 «принцип дополнительности» Бора — 332—336;
 «принцип неопределенности» Гейзенберга — 326—331;
 решающий эксперимент Ленарда — 311—315;
 решающий эксперимент против корпускулярной теории света — 306—311;
 «духовный элемент» в *а. ф.* — 356—364;
 вероятности как психические явления — 361;
 возрождение организмической науки — 357—359;
 «действие» — 358—359;
 квантовая теория и поведение духов — 360;
 переходы электрона с одной орбиты атома водорода на другую — 362;
 исчерпывающая интерпретация *а. ф.* — 352—353;
 наука и метафизика в принципе неопределенности — 369—379;
 см. также Неопределенности принцип;
 неполная интерпретация *а. ф.* — 344—345, 352—353;
 одновременное положение и импульс частицы — 353;
 популярные интерпретации *а. ф.* — 364—369;
 аналогии обыденного здравого смысла — 366—369;
 красота и вера как реальности — 365—366;
 «принцип неопределенности» — 368;
 реальность — 369;
 разнообразие формулировок в *а. ф.* — 351—355;
 расщепление атома урана — 247;
 «свободная воля» — 379—393; см. также «Свободная воля»;
 «эффект упаковки» — 279—280;
 явления и промежуточные явления — 346—351;
 язык *а. ф.* — 340—341, 345—346;
 «наблюдатель» — 354;
 приписывание условных физических свойств — 354.
 Бавинк Бернард — 357;
 духовный элемент в атомной физике — 360—363.
 Барнетт Линкольн — 285.
 Баттерфильд Герберт — 171
 Бергсон А. — 282.
 Бимэн У. У. — 121.
 Большая советская энциклопедия — 287.
 Больяй Янош — 139.
 Бор Нильс — 184, 319, 338, 340—342; 349, 354, 371, 372, 381, 504;
 принцип дополнительности — 332—336, 377;
 как выражение «агностицизма» 378—379;
 ограничительная интерпретация — 352;
 роль причинности в атомной физике — 509;
x-компонента импульса — 330.
 Борель Эмиль — 162.
 Брахма Налим Канта — 387.
 Бриджмен П. У. — 156, 166, 345, 463.
 Бройль Луи де — 306, 320, 322, 337;

- волны де Бройля — 326, 343—344, 351;
 амплитуда волн как динамические переменные — 426—427, 505;
 реальность волн — 366, 372—373, 376;
 Бронковский Якоб — 499—500, 512
 Бруно Джордано — 188.
 Бэкон Роджер — 93.
 Бэкон Френсис — 98, 160, 515;
 достоинство астрономии — 205;
 индукция как основа науки — 448—449.
 Белл Александр Грейам — 73.
- Вавилов С. И. — 290.
 Венцель Алоиз — 360.
 Веркмейстер Вильям — 376—377
 Веронезе Джузеппе — 162.
 Вероятности теория — см. также Причинность;
 индуктивный вывод — 474—476; см. также Индукция;
 объединяющая и упрощающая способность теории — 499;
 операциональное значение — 477—482;
 относительная частота события — 477—479;
 Рейхенбаха два метода определения *в.* — 478—480;
 совокупности («коллективы») — 478—479, 481—482;
 реальность в атомной физике — 373—375;
 статистическая и логическая вероятность — 482—494;
 ведет к тому же самому утверждению о действиях — 496;
 в отношении к единичному событию — 495—498;
 индуктивная вероятность — 483; см. также Индукция;
 «правила действия» — 489—490;
 тесно связаны друг с другом — 491;
 эмпиризм — 493.
 Витгенштейн Людвиг — 192, 193.
 Водорода атом — 361.
 Возмущения (в астрономии) — 457—458.
 Волновая теория света — 84, 309—311;
 волновое уравнение — 512—513.
 Воображение — см. Индукция.
 Время
 операциональные определения *в.* — 464—469
 относительность пространства и времени — 237—242;
 «точки-события» — 260;
 в четырехмерном пространственно-временном континууме — 260—266;
 «чувственное» *в.* по сравнению с мыслимым — 282.
 Вселенная
 аналогия между человеческим организмом и *в.* — 178—179;
 четырехмерная *в.* — 260—266, 291—294.
 «Вымысел», теории как *в.* — 98—100.
 Галилей — 86, 96, 205, 254, 268;
 вклад его — 113;
 инерция — 187—188.
 Гейзенберг Вернер — 326, 371, 381; см. также Неопределенности принцип.
 Гейрингер Хильда — 481, 482, 499.
 Гелиоцентрическая система — см. Коперника система.
 Гельмгольц Герман — 161.
 Геометрия
 аксиомы
 два аспекта в рассмотрении *г. а.* — 130—131;
 их значение в системе идей — 124—125;
 одна прямая линия между

- двумя точками — 129—130;
 в критическом идеализме — 128;
 в рационализме — 125—127;
 в эмпиризме — 126—127;
 две точки зрения на *г.* — 159;
 аксиома параллельных линий — 132—137;
 и достоверность теорем — 161—162;
 евклидова *г.* в сравнении с *г.* Лобачевского — 156—157;
 ограниченность *г.* — 248—251;
 и причинные законы — 433—435;
 пространственная интуиция *а.* — 161;
 световые лучи — 164;
 физическая интерпретация — 156—159, 164—165;
 интеллигибельные принципы и наблюдаемые факты в *г.* — 122—125;
 «истинность» предложений в *г.* — 143—147;
 значение геометрических терминов — 144—145;
 математическое доказательство — 143—144;
 как наука, имеющая дело с жесткими физическими телами — 145—146;
 смесь логических и эмпирических утверждений — 143;
 как идеал философии — 117—122;
 аксиомы и теоремы — 119—120;
 возможность интеллигибельных принципов — 120;
 высокая степень достоверности — 117;
 правила логики — 118—119;
 конгруэнтность — 131—133, 143;
 концепция *г.* XX в. — 159—169;
 аксиомы как физические гипотезы — 162—166;
 операциональные определения — 166;
 проверка истинности евклидовой *г.* — 164—165;
 пространственная интуиция — 163—164, 168—169;
 неевклидова *г.* — 137—142;
 величина треугольника — 136—137, 141—142;
 и вера в самоочевидность метафизических принципов — 117;
 «дефект» — 137, 141—142;
 Лобачевского аксиома — 139—140;
 и Римана *г.* — 138;
 операциональные определения в *г.* — 154—159;
 прямая линия — 154—155, 160;
 твердое тело — 249—251;
 точка — 129, 155;
 формализация *г.*
 аксиомы — 147—150, 163;
 имплицитное определение терминов — 155;
 конвенционализм — 158;
 конгруэнтность — 150—154;
 требование чисто логической системы — 160;
 четырехмерная *г.* — 248—266;
 и «действительная» вселенная — 260—266.
 кривизна пространства — 256—259;
 относительность ускорения и вращения — 251—256.
 Гершель Джон — 472, 499.
 Герц Генрих — 224, 226.
 Грегори Давид — 207.
 Греция древняя
 презрение к физическому труду — 88—90;
 принцип экономии в науке — 109;
 разрыв между философией и «упрямыми фактами» — 87;
 экспериментальное исследование — 90—91;
 Гильберт Давид 151—154, 160, 163—164.

Гипотезы — см. также Общие положения науки.
метафизические гипотезы 103;
нет различия между г. и принципами — 84;
продукт человеческого во-
ображения — 73;
Гюйгенс Христиан — 100,
306—307.

Данте — 172, 175, 205.

Движение — 170—211; см. так-
же Механика;
атомных объектов — см.
Атомная физика;
переход от организмического
к механистическому
взгляду — 85—86;
существенные компоненты
д. — 65.

Движение планет — 99; см.
также Механика;
до Галилея — 174—176,
445—446;
перводвигатель — 175—176;
Кеплера закон — 453—458;
и возмущения — 110, 458;
ньютонская механика —
99, 208—211;
орбиты как деформирован-
ные, очень сложные кри-
вые — 197
фиксированные (неподвиж-
ные) звезды и относительность
ускорения и вращения — 253.
Движение, свет и относи-
тельность — 212—247; см.
также Атомная физика;
Относительности тео-
рия;
движение поля тяготения —
254—255;
принцип эквивалентности —
255;
«исчезновение» и творение
материи — 242—247;
кажущаяся масса — 246;
масса покоя — 245;
ньютонское определение
массы — 244—245;

расщепление атома ура-
на — 247;
релятивистская масса — 246;
ньютонская механика —
214—218;
теорема относительности —
218;
центробежное движение
масс — 217;

электромагнитный и гравита-
ционный типы силы — 215;
ньютонская относитель-
ность и оптические явле-
ния — 218—223;

годовая абберация све-
та, идущего от непо-
движных звезд — 220—221;
корпускулярная теория
света — 219—220;
Майкельсона экспери-
мент — 222—223, 228, 229;
эфира теория — 220—221;
относительность простран-
ства и времени — 237—242;
см. также

Четырехмерный простран-
ственно-временной конти-
нуум; временной промежу-
ток — 237;
достижения в области се-
мантики — 240, 241;
принципы теории Эйнштей-
на — 227—230;

модификация традицион-
ных законов физики —
230;

принцип относительности —
229—230;

принцип постоянства —
229—230;

теория относительности
есть физическая гипотеза —
231—236;

электромагнитная картина
мира — 223—227;

Максвелловы уравнения
электромагнитного поля —
224;

начало эры логико-эмпири-
ческой физики — 227;

теория массы — 225.

- Дедуктивная логика — 483.
 Действия правило — 490; см. также Операциональные определения
 Декарт Рене — 104, 120;
 аксиомы геометрии — 125—126;
 роль геометрии — 118;
 правила логики — 118—119.
 Джемс Уильям — 87.
 Джефрис Гарольд — 494—495.
 Джинс Джемс — 359, 367.
 «Диадическая» схема в изложении науки — 509—510.
 Дингл Герберт — 113, 115.
 Дифференцированный эстетический континуум — 66—67.
 Дополнительность — см. Бор Нильс.
 Достаточного основания принцип — 72, 77;
 необходимость его — 107—108.
 Дюгем Пьер — 81, 310.
 Дюкасс К. Дж. — 451.
- Евклид — 121; см. также Геометрия.
- Животные
 их движение — 85—86;
 организмическая теория движения — 86, 117.
- Закон вечности субстанции — 72.
 Законы научные — см. Общие положение науки.
- Идеалистическая философия — 120;
 критический идеализм — 128;
 поворот к идеалистической философии и относительность — 281—284.
 «Идеализация» — 61;
 существенные свойства — 64—65.
- «Ротора» понятие — 459.
 Индукция — 73, 84, 111;
 индуктивная вероятность — 482—483;
 логическая вероятность — 483;
 индуктивный вывод — 475—476;
 «вероятность» теорий — 477;
 место и. в древней и новой науке — 444—449;
 как индукция, так и дедукция всегда играли определенную роль — 444—445;
 метод проверки как критерий различия — 446;
 принципы средней общности — 448—449;
 разница между средневековой и новой наукой — 444;
 метод и. — 451—453;
 одна индукция может быть заменена другой — 476;
 основная антитеза между фактами и идеями — 449—450;
 и. с помощью интуиции и через перечисление — 469—476;
 неповторяемость фактов наблюдения — 471;
 и. посредством новых понятий — 453—454;
 значение «чистой математики» — 458—462;
 Кеплера закон — 453—458;
 «правила действия» — 489—490;
 ничего не говорят о физических фактах — 488;
 привычки и условные рефлексы — 452—453;
 структура лингвистического материала на основе материала наблюдений — 449—450;
 утверждения индуктивной логики, элементарный пример — 484;
 Инерции закон — 63, 68—69, 86, 171; см. также Ньютоновская механика;

- как интеллигибельный принцип — 99—101.
- «Инженерия человека» — 523.
- Инженерное дело
в древности — 87—88;
«правила на глазок» — 68—69
- Интеллигибельные принципы — см. Общие положения науки.
- «International Encyclopedia of Unified Science» — 510.
- Интуиция — 72—75;
значение термина — 168—169;
индукция с помощью *и.* — 470;
пространственная *и.* — 163—164.
- Истина
картезианский критерий *и.* — 118;
научный и философский критерии *и.* — 75—77;
практическая польза «философской истины» — 78—81.
- Иегер Вернер — 175.
- Кант Иммануил — 120—121, 209, 456;
вера в возможность философии — 120;
интеллигибельный характер закона инерции — 268—271;
критический идеализм — 128;
причинность — 422—423, 431;
синтетические суждения *a priori* — 120.
- Кар Герберт У. — 286.
- Карнап Рудольф — 145, 482—497, 499, 510.
- Квантовая механика — 314—319; см. также Атомная физика;
интеллигибельность — 72—73;
и нежелание признавать ее — 100—101;
практическое ее значение — 96—98;
и свобода воли — 356.
- Кейнс Дж. М. — 495.
- Кельзен Ганс — 395.
- Кеплер Иоганн — 196, 446, 451;
закон эллиптических орбит — 453—458, 486.
- Клагес Людвиг — 299—300.
- Клиффорд — 145—126.
- Книга природы — 454.
- Комптона эффект — 504.
- Конэнт Джемс Брайант — 94.
- Конвенционализм — 158, 191.
- Конт Огюст — 59, 183.
- Коперника система — 84, 97—98, 205, 241—242;
интеллигибельность — 98—99;
и организмические законы движения — 184—188;
отвержение системы Коперника — 516—517;
переход от физики средних веков к физике нового времени — 185;
и привычки мышления обыденного здравого смысла — 446;
пригодность для обобщения — 461—462;
«простота» ее — 512;
система Птолемея больше согласуется с обыденным здравым смыслом — 461, 514—515.
- Кривизна пространства — 256—259;
значение *к. п.* — 462.
- Кэнем Эрвин Д. — 367—368.
- Лагранж Жозеф — 260.
- Лангер Сусанна — 62.
- Ланде Альфред — 350, 371—372.
- Лаплас П. С. — 209, 319, 504;
верховный разум — 397—402, 403—404.
- Лармор — 234.
- Ларсен Ганс — 474.
- Лейбниц — 100, 182.
- Ленард Филипп — 311—312.
- Леруа Эдуард — 115.
- Лобачевский Н. И. — 139—140, 160, 169, 232—233;

- «аксиома Лобачевского» скрывает бесконечное число аксиом — 140—141;
евклидова геометрия и геометрия Л. — 156—157;
параллельные и непересекающиеся линии — 140.
- Логика**
Декарта «правила логики» — 118—119.
система геометрии Евклида может быть изменена в чисто логическую — 147;
характеристика логических положений — 143.
- «London Times» — 290.
- Лорентц Гендрик — 225—227, 234, 236, 246.
- Лукреций — 199, 209—210.
- Майкельсон Альберт — 222—226, 228.
- Максвелл Дж. К. — 221—224, 227, 236, 311, 321, 458—460;
истинность закона инерции — 272—275;
теория электромагнитного поля — 203, 514.
- Маймонид Моисей — 178.
- Маргенау Генри — 373—378, 421, 423.
- Марцелл — 90.
- Масса**
операциональное определение м. — 198—204;
определение м. Ньютоном — 198—199;
и скорость света — 243—245;
постоянство м. — 202—203;
электромагнитная теория м. — 225—228.
- Математика**
геометрия и философия — 117—118; см. также Геометрия;
математическая простота теории — 512—513;
«чистая» математика и ее значение — 458—462.
- Материализм**
диалектический материализм — 290;
«духовный» элемент в атомной физике — 356—364;
и теория относительности — 280—284, 290—297;
кривизна пространства — 294;
физика как утверждение о явлениях сознания — 296—297;
четырёхмерная вселенная — 291—293.
- Материя**
«исчезновение» и «творение» м. — 242—247;
неуничтожимость м. — 294;
как метафизическая интерпретация — 276—280;
«эффект упаковки» в ядерной физике — 279—280;
взгляд на м. последователей Эпикура — 199;
теория самозарождения — 509, 522.
- Мах Эрнст — 107, 210—211, 252—253, 274, 447, 512;
индукция — 473—474;
постоянство массы — 203.
- Маятник**
«свободные колебания» и «вынужденные колебания» — 383—385;
Фуко маятник — 64, 190.
- Менделя законы — 71.
- Мертон Томас — 392.
- Метафизика — см. Философия.
- Метеорология — 428—429.
- Механика**
аналогия между механической силой и «волевым усилением» — 180—183;
как «геометрия четырех измерений» — 260, 265;
движение под действием сил тяготения — 61; см. также Эйнштейн; Ньютоновская механика;
до Галилея и Ньютона — 170—173;

- аналогия между человеческим организмом и вселенной — 178—179;
выведение законов — 85—86;
движение планет — 99, 174;
движение снаряда — 177;
земные и небесные тела — 172;
организмическая теория — 174;
перводвигатель — 175;
случайный характер движения земных тел — 185;
тело стремится к своему «естественному месту» — 173—174;
цель движения и ее важность — 184;
инерции закон — 57, 61, 63; см. также Ньютоновская механика.
Коперника система
организмические законы движения — 184—188;
Солнце находится в состоянии покоя — 185;
новая и измененная картина мира — 188; см. также Атомная физика; Философия;
ньютоновская м.
как интеллигибельные принципы — 99—101;
новая механика — 171;
описание — 192—193;
составляющие движения падающего тела — 61;
тяготение — 63;
условие равновесия рычага — 106—107;
ускорение — 62; см. также Ньютоновская механика; определение — 189.
Механистическая наука — 96—98;
Механистическая философия — 85—86;
механистическая физика стала самоочевидной — 101.
Мизес Рихард — 478—481, 483, 490, 493—495, 499, 512.
Милль Джон Стюарт — 125—127, 444, 452, 471, 472, 475, 512;
и Кеплера законы — 453—457.
Минковский Герман — 261, 265, 292, 358, 460—461.
Моррис Чарлз — 510.
«Наблюдатель» в атомной физике — 354.
Наблюдение — см. также Общеденного здравого смысла опыт и аксиомы геометрии — 161—164;
и обобщения — 59—61;
книга природы — 454;
лучшее описание наблюдаемых фактов — 184;
и общий принцип науки — 71;
«подтверждение» в сравнении с «доказательством» — 76—77;
ученый ищет простую формулу, из которой можно вывести наблюдаемые положения тел — 73;
язык м. — 101.
Наполеон — 403.
Наука
«банальные» реальности — 55—56;
условия рассуждения — 56, 68;
дифференцированный эстетический континуум — 66—67;
рассуждение на уровне здравого смысла — 56—58;
общие принципы — 58;
двойная цель м. — 108;
индукция в древней и новой науке — 444—449; см. также Индукция;
как «наука» может стать «философией» — 96—101;
как часть философии — 91—96;
критерии для новых теорий — 96;
решающая роль опыта — 92—93;

- как часть человеческого поведения вообще — 523;
критерий истины — 75—77;
см. также Общие положения науки: подтверждение теорий; механистическая *н.* и стадии ее интеллигибельности — 97—98;
общие положения *н.* — см. Общие положения науки; основа успеха в *н.* — 122—113; и отличие ее от философии — 69—70; см. также Философия;
понятия и операциональные определения — 463—469; см. также Операциональные определения;
рождение новой *н.* — 87—91;
возросший престиж ремесленничества — 91;
подход к техническому знанию в древности — 87—88;
союз науки и техники — 92;
цель науки XX века — 228;
экспериментальное исследование в древности — 90—91;
собственно наука — 109—110;
принцип экономии в *н.* — 109—111;
спекулятивная *н.* и метафизика — 101—103;
семантические правила — 101;
цепь, связывающая науку и философию — см. Философия;
язык *н.* — см. также Операциональные определения;
Семантика;
разные языки в одной и той же картине вселенной — 115;
эволюция языка *н.* — 113—115.
- Научный метод** — 68.
- Нацизм**
догматизм Эйнштейна — 300;
и возрождение организмической науки — 357—358;
- Небесных тел движение** — см. Движение планет.
- Неопределенности принцип** — 325—332, 366—367;
и возможность религии для разумного ученого — 386;
интерпретации, связанные с этим принципом, не являются утверждением о реальности — 372;
наука и метафизика в принципе неопределенности — 369—379;
вероятность — 374—375;
историческая реальность — 373;
реальность — 372—373;
физическая реальность — 373—376;
частицы как единственные «реальные объекты» — 376;
популярные интерпретации — 364—369;
роль причинного закона в атомной физике — 508.
- Ньюман Алф** — 473—474.
- Нортроп** — 66.
- Ньютоновская механика** — 71, 75, 96, 98, 181—182, 186, 188—211;
ближе к опыту, чем электромагнитная картина мира — 227—228;
вывод статистических законов из *н. м.* — 441—442;
движение частиц с большими скоростями — 203—204;
см. также Атомная физика;
закон тяготения — 83;
законы Ньютона основывались на обобщении коперниковской теории — 514;
замена организмического взгляда на механистический — 86;
индуктивная вероятность — 487—488;
инерции закон — 171, 187—189, 191, 205;
и Галилеи — 187;
как догма — 297—299;

- метафизические интерпретации — 267—275;
 операциональные определения — 193—194;
 как причинный закон — 434—435;
 масса — 198;
 отношение между точками массы и наблюдаемыми явлениями — 408—409;
 постоянство *м.* — 202—203;
 и ускорение тела до скорости света — 243—244;
 центробежное движение — 217;
 основа новой механики — 171;
 пережитки организмической физики в *н. м.* — 204—211;
 абсолютное пространство — 206—207;
 движение планет — 208—209;
 предсказание доступных наблюдению фактов — 215;
 признание законов — 188—192;
 играют роль аксиом — 190;
 инерциальная система — 191, 200, 204;
 не содержит их операционального значения — 189;
 проверка наблюдением — 201;
 произвольные соглашения — 191—192;
 фактическое значение *з.* в большой степени зависит от человека — 198;
 причинные законы — 399—402;
 не имеют смысла в атомной физике — 506—507;
 точные предсказания — 504;
 пространства понятие
 относительность ускорения и вращения — 251—253;
 «чувствилице бога» — 217, 252, 360;
 прямолинейное движение — 189;
 и «свободная воля» — 379—381;
 сила — 189, 413—414;
 операциональное определение *с.* — 193—198;
 и союз науки и философии — 103—104;
 справедливость *н. м.* в отношении неподвижных звезд — 210;
 теоремы относительности — 214—218;
 и распространение света — 219—221;
 и философская истина — 99—100;
 язык *н. м.* — 114—115.
 Ньютон Исаак — 111, 196, 512.
- Образование**
 влияние интеллигибельных принципов науки — 79;
 Общие положения науки — см. также Гипотезы; Теории всегда существовали в наблюдаемых фактах — 73—74;
 интеллигибельные принципы и вечная ценность — 99;
 «вымысел» — 98—100, 122—125;
 возможность их, доказываемая математикой — 120;
 в геометрии — 122—125;
 достоинство их — 104—105, 108;
 древняя и средневековая наука — 85—86;
 идея перво двигателя — 175—176;
 и религия — 102—103;
 квантовая механика — 97;
 нет существенной разницы между *и. п.* и утверждениями науки — 97;
 неуничтожимость материи как интеллигибельный принцип — 276;
 отказ от требования выведения из *и. п.* — 227;
 правдоподобны по аналогии — 105—106, 107—108;
 принцип круговых орбит для планет — 446;

результат философской интерпретации — 116;
 и религия — 102—103;
 и «собственно наука» — 109—110;
 совершенная наука — 85—86;
 стадии механистической науки — 97—98;
 математическое упрощение наблюдаемых фактов может привести к выдвигению весьма общих положений — 514;
 научные критерии для признания теорий — 509—516;
 роль причинности в науке XX века — 501—509;
 см. также Причинность;
 положения индуктивной логики — см. Индукция;
 понимание по аналогии — 62—65;
 построение их — 449—450;
 правдоподобность их — 71—72;
 продукт способности человеческого разума — 84;
 воображение — 84, 111; см. также Индукция;
 подтверждаемые следствиями — 84;
 роль их — 71—72;
 связующая цепь между наукой и философией — см. также Философия;
 справедливость теории — 477—500; см. также Вероятность;
 «диалектическая» схема аристотелевской традиции — 509;
 индукция и статистическая вероятность — 477—482;
 какой цели должна служить теория — 520—523;
 основания относятся к области философии науки — 58;
 «подтверждение» в сравнении с «доказательством» — 76—77;
 признание теории всегда есть результат компромисса — 500, 515; 518—521;
 простота и согласие со здравым смыслом как социологические критерии — 516;
 различие между древней и новой наукой — 446;
 решающее основание для признания есть «динамическое» — 513—514;
 роль вненаучных оснований — 516—523;
 статистическая и логическая вероятность — 482—494;
 «триадическая» схема новой науки — 509—510;
 философские запросы древней науки — 72;
 с чисто научной точки зрения — 510—511;
 экономия и простота — 511—513;
 схемы описания — 58—62;
 теория высокой степени общности — 501—523;
 техническое и социологическое значение теории — 521—522;
 упрощение — 110.
 Обыденного здравого смысла опыт — 56—58; см. также Наблюдение; законы движения — 113;
 и интеллигибельность общих принципов — 105—108;
 метод проверки доступен каждому — 447;
 и относительность одновременности — 293;
 и принятие теории — 497;
 социологический критерий — 516;
 роль обыденного здравого смысла в древней науке — 87—91, 444—445;
 в позднем средневековье — 92;

- связь с общими принципами — 57—58;
 схемы описания — 58—62;
 «согласие с наблюдаемыми фактами» никогда не выделяет какую-либо одну-единственную теорию — 518;
 философия находится ближе к опыту обыденного здравого смысла, чем наука — 112;
 философия связывает научные принципы с обыденным здравым смыслом — 115—116;
 и язык науки — 114—115.
- Оккам Уильям — 512.
- Окисление — 93.
- Ома закон — 83;
 правдоподобность его — 105—106;
- Операциональные определения и аналогии обыденного здравого смысла — 275;
 время — 465—469;
 в геометрии — 154—159;
 добавление к утверждениям индуктивной логики — 488;
 допущение *о. о.* — 336;
 кривизна пространства — 258—259;
- Ньютона законы — 188—193;
 вероятность — 477—482;
 масса — 198—204;
 сила — 193—198;
 и относительность пространства и времени — 237—242;
 оценка полезности выражений — 241;
 положение и импульс частицы — 334—340;
 понятия — 463—469;
 развитие операциональных определений тесно связано со знанием законов физики — 469;
 результаты испытаний индукции — 163;
 твердое тело — 249—251;
 теория как отношение между символами и операциональными определениями символов — 511;
- термодинамика — 464—465;
 Эйнштейна теория относительности — 231—234;
x-компонента импульса — 330.
- Описание
 косвенное, через формальную систему — 184;
 простая фиксация наблюдений — 58—60;
 «состояние системы» — 485;
 роль причинности в атомной физике XX в. — 508;
 схемы описания — 58—62;
 идеализация — 61;
 теории суть схемы — 61.
- Опыт — см. Обыденного здравого смысла опыт.
- Организмическая механика — 174, 183;
 возрождение ее — 357—358;
 пережитки ее в ньютоновской механике — 204—211.
- Организмическая философия — 85—86.
- Относительности теория — см. также Эйнштейн; Движение, свет и относительность как «вымысел» — 98;
 как догматическая теория — 297—300;
 интеллигибельность — 72—73;
 и нежелание признавать ее — 101;
 и материализм — 281—284, 290—297; см. также Материализм;
 метафизические импликации — 280—290; см. также Философия; влияние на поведение человека — 284;
 общая теория *о.* — 255;
 и ограниченность евклидовой геометрии — 248—251;
 относительность ускорения и вращения — 251—256;
 практическое значение *т. о.* — 97;
 принципы теории Эйнштейна — 227—230;
 четырехмерный простран-

- ственно-временной континуум — 260—266;
и язык обыденного здравого смысла — 292—294.
- Паскаль — 119.
Паш Мориц — 163.
Перводвигатель — 517.
Перикл — 89.
Пирс Ч. С. — 59, 117, 119, 120, 509.
Планка постоянная — 253, 315, 326.
Платон — 125, 160, 517;
астрономия — 81—81;
иерархическая структура — 79;
изучение геометрии — 117;
теория идей — 74.
Плутарх — 89, 90.
По Эдгар Аллан — 55.
Поведение человека и биологические теории — 522;
бихевиоризм и принятие теорий высокой степени общности — 510;
социологическое значение теории — 521;
движение человека в доньютоновской механике — 180;
привычки, условные рефлекссы и процесс индукции — 452—453;
и «свободная воля» — 379—393; см. также «Свободная воля».
Позитивизм — 59, 74, 473;
и индукция через перечисление — 471—472.
Поля теории — см. также Электромагнитного поля теории;
причинные законы в теории поля — 408—413.
Правила действия — 489—490;
см. также Операциональные определения.
Прагматизм — 74.
Прагматический компонент науки — 510.
- Предопределение — 265—266, 293; см. также Причинность;
смысл *п.* — 394—397.
Причинность — 77;
«бреши» в причинных законах — 413—417;
«всеведущий» разум — 396—402;
«всеведущий» разум — 396—законы равновесия — 433;
математическая форма причинного закона — 402—405;
определяющие и неопределяющие переменные — 405—408;
«простая» формула — 404—405;
общий принцип *п.* — 418—422;
одинаковые состояния — 419;
соотнесение с наблюдением — 419—420;
юмовская и кантовская *п.* — 418—423;
как повторение следствий — 423—430;
значение *п.* в исторических и общественных науках — 427—428;
уменьшение числа переменных — 428;
предопределение с научной точки зрения — 417;
рок — 396;
смысл предопределения — 394—397;
приписывание телам динамических переменных — 431—432;
подтверждение опытом — 410;
реальность и вероятность событий — 374—375;
роль причинности в науке XX в. — 501—509;
возникновение атомной физики и анализ *п.* — 501—502;
итоги — 508;
причинные законы ньютон-

- новской механики и атомная физика — 506—507; и соотношение неопределенностей — 507; теория дополнительности — 508—509; точные предсказания и число случаев — 504; статистический закон — 434—441; в отличие от причинного закона — 435, 441—442; причинные законы суть статистические законы, допускающие пределы — 443; «эргодическая теорема» — 442; и судебная процедура — 395; как существование законов — 430—434; трудность в формулировании принципа *п.* — 395.
- Промежуточные явления в атомной физике — 346—351;
- Промышленная революция — 521;
- Простота как критерий для принятия теории — 511—513; как социологический критерий — 516.
- Пространство
абсолютное — 206—207; относительность ускорения и вращения — 251—256; евклидово и неевклидово *п.* — 168; кривизна *п.* — 256—259; важность теории — 462; относительность пространства и времени — 237—242; четырехмерный пространственно-временной континуум — 260—266; пространственная интуиция — 163—164.
- Птолемея система — 84, 98—99, 461, 512; менее «динамична», чем теория Коперника — 514; см. также Коперника система.
- Пуанкаре Анри — 158, 164, 165, 169, 195; конвенционализм — 191.
- Рабство — 88—89.
- Равновесия законы — 433.
- Райл Дж. — 256.
- Распространение плотности — 302.
- Рассел Бертран — 284, 394, 396, 397.
- Рационализм — 120, 125—127.
- Реальность — 368—369; в субатомной физике и квантовой механике — 372—379.
- Рейхенбах Ганс — 74, 345, 346, 477, 511, 512; индукция — 471, 474—475; промежуточные явления — 346—351, 353; частотная теория вероятности — 478—483, 494—495, 497—499.
- Религия
абсолютное пространство и «чувствилище бога» — 206—207; бог как неподвижный двигатель (перводвигатель) — 176; влияние теории относительности — 281; и интеллигибельные принципы — 102; и популярные интерпретации атомной физики — 364—369; и принцип неопределенности — 386; и современная механика — 188; «творение» материи — 242—247.
- Решающий эксперимент в физике — 95—96; корпускулярная теория — 306—311.
- Риккерт Генрих — 427.
- Риман Бернхардт — 161, 169, геометрия *Р.* — 138—140.
- Ружье Л. — 161, 167.
- Рычаг — 106—107.

- Салливен Дж. — 364—365.
- Самопроизвольного зарождения теория — 509, 522.
- Свет — см. также Атомная физика.
- волновая теория — 309—311, 313—315;
- интерференция и дифракция — 316;
- решающий эксперимент — 311—315;
- корпускулярная теория света — 84, 219—220;
- опровержение теории с. — 95—96; см. также Вероятность;
- как распространение уплотнений — 306;
- световые кванты — 314—315;
- законы движения для квантов света — 315—319;
- световые лучи
- длина волн — 304;
- истинность евклидовой геометрии — 164—165;
- преломление — 303—304;
- эфирная теория света — 220—221;
- «Свободная воля» — 379—393, 522;
- воление может заполнить «бреши», оставляемые статистическими законами — 383, 386;
- движение человека под воздействием его воли — 180;
- доктрина физического детерминизма и свобода в сфере духа — 386—387;
- «долг» и с. в. — 388;
- изменение теорий физики не может помочь в решении проблемы с. в. — 381—383;
- и квантовая теория — 356;
- переходы электрона с одной орбиты водородного ядра на другую — 362—363.
- психологическое доказательство — 388—393;
- биологическое «я», «я» и «сверх-я» — 391—392;
- «воля» как психический феномен, подобный воображению — 390;
- конфликт между «долгом» и «удовольствием» — 390—391;
- психическое состояние как часть причинной цепи физических состояний — 389;
- религиозные учения — 392—393;
- свободные колебания маятника — 383—384;
- Семантика
- «абсолютная длина» в сравнении с «относительной длиной» — 240;
- и вероятность теории — 496—497;
- описание атомных объектов — 340—346;
- приписывание условных физических свойств — 354—355;
- релятивизация пространства и времени есть достижение в области семантики — 241;
- термины обыденного здравого смысла — 114;
- триадическая схема в изложении науки — 509—511;
- «семантический» компонент науки — 510;
- язык наблюдений и принципов — 101.
- Сила — 413;
- гравитационная — 215—216;
- операциональное определение с. — 193—198;
- электромагнитная — 215.
- Символы
- и операциональные определения — 192—193;
- отношения между с. составляют «логический» компонент науки — 510;
- и соответствие с наблюдаемыми количествами — 419—420.
- Симметрия — 107—108.

- Симпсон — 522.
 Синнот — 281.
 Смит Д. — 121.
 Смэтс Д. — 358—359.
 Сорокин Питирим — 281—282.
 Сохранение энергии — 105—106;
 Спенсер Герберт — 268;
 неуничтожимость материи — 276—280.
 Спиноза — 389—390.
 Статистические законы и причинные законы — 434—443;
 статистическая теория вероятности — см. также Вероятность;
 операциональное значение «вероятности» — 477—482;
 правила действия — 489—490;
 признание теорий — 511;
 употребление термина «статистическая вероятность» — 483;
 Стокс — 223.
 Сущность — 65;
 опровержение теории — 94—95.
 Схоластическая философия — 74, 509.
- Геологические понятия — 60;
 см. также Религия.
 Теорема относительности — 218.
 Теории — см. также Общие положения науки;
 как «вымысел» — 98, 100;
 признание т.
 простота и изящность — 96;
 практическое значение т. и интеллигибельность — 97;
 существенные и случайные части — 94;
 и схемы описания — 58—62;
 т. не согласуется со всеми фактами — 93;
 «опровержение теории фактами» — 94;
- «решающий» эксперимент — 95—96;
 существующая т. никогда не отбрасывается без появления новой т. — 94;
 формализация и физическая интерпретация аксиомы — 146—150, 163—164;
 вера в простоту ньютоновских законов — 198;
 движение частиц с большими скоростями — 203;
 имплицитное определение геометрических терминов — 155;
 конвенционализм — 158, 191;
 конгруэнтность — 150—154;
 Ньютона законы — 188—190;
 тенденция представить геометрию как чисто логическую систему — 160.
 Термодинамика — 464—465.
 Техника
 в древности — 87—91;
 союз между наукой и техникой — 92.
 Тимирязев А. К. — 287—289.
 Томсон Дж. — 203, 224, 246.
 Точка — 129, 154—155.
 «Точки-события» — 260.
 «Триадическая» схема в изложении науки — 509—510.
 Тяготение — 63.
- Уайтхед А. — 87, 91, 292—293.
 Уитмен У. — 56, 57.
 Уолд Джордж — 522.
 Упрощение — 110.
 Ускорение — 61—62, 189; см. также Ньютоновская механика.
 Ученый
 работа у. — 110—111.
 Уэвелл Вильям — 444, 450—454, 470—474, 499;
 Кеплера закон — 453—458.

- Фидий — 89, 90.
- Физика — см. также Атомная физика; Механика; Наука.
- Философия
- геометрия как идеал *ф.* — 117—122; см. также Геометрия;
 - интеллигибельные принципы — см. Общие положения науки;
 - критерий совершенства — 519;
 - метафизические интерпретации релятивистической физики — 267—300; см. также Атомная физика;
 - всякая метафизическая интерпретация служит какой-нибудь цели — 299;
 - догматический дух и теория относительности — 297—299;
 - неуничтожимость материи — 276—280;
 - теория относительности — 280—290;
 - как «наука» может стать «философией» — 96—101;
 - отличие от науки — 69—70;
 - двойная цель науки — 108;
 - изобретение в сравнении с интуицией — 73—74;
 - интеллигибельность общих принципов науки — 72—73;
 - интеллигибельные утверждения в сравнении с чисто практическими — 97;
 - критерии для признания новых теорий — 96;
 - проблема свободной воли — 386—387; см. также «Свободная воля»;
 - философия ближе к обыденному здравому смыслу, чем наука — 112;
 - переход от организмической к механистической *ф.* 85—86;
 - практическая цель *ф.* 109;
 - связывает научные принципы с обыденным здравым смыслом — 60, 116;
 - различие между восточной и западной *ф.* — 66—67;
 - спекулятивная наука и метафизика — 101—103;
 - и техническое знание в древности — 87—90;
 - философия науки как часть науки о человеке — 58;
 - философские истины
 - польза от них — 78—81;
 - самоочевидность — 77—78;
 - центральная проблема философии науки — 58;
 - цепь, связывающая *ф.* с наукой — 70—71, 77, 80;
 - дерево Декарта — 104;
 - иллюстрация *ц.* — 83;
 - организмическая теория движения — 176—177;
 - принципы средней общности — 83, 448—449;
 - разрыв *ц.* — 82—85, 92, 96;
 - стремление вывести научные положения из общих принципов, правдоподобных и интеллигибельных — 84.
- Флогистон — 93.
- Формулы — см. Общие положения науки.
- Фрейд Зигмунд — 391—392.
- Френель — 309—310, 311, 113;
- Фуко — 252, 253, 308—309, 311;
- Фурье ряды — 512.
- Химия — 113—114.
- Четырехмерный пространственно-временной континуум — 260—266, 462;
- и общая теория относительности — 460—461;
 - язык теории относительности — 292—294.
- Чувственные данные — см. Обыденного здравого смысла опыт

- Шин Фултон Дж. — 387.
 Шоу Бернард — 356 — 357.
 Шредингера волновая теория материи — 361;
 и физическая реальность — 373—374;
 функции — 373, 505—506.
 Штарк Иоганн — 297.
- Эволюции теория — 95.
 Эдди Мэри Бейкер — 286.
 Эддингтон Артур — 386.
 Эйнштейн Альберт — 97, 98, 211, 212, 214, 228, 229, 253—257, 261, 280, 282, 284, 285—290, 292, 314, 315, 321, 365;
 о «бреши» между понятиями и опытом — 114—115, 294—295;
 геометрия
 достоверность ее — 159;
 единство геометрии и физики — 169;
 проверка истинности евклидовой *г.* — 164—165;
 движение в поле тяготения — 253—254;
 относительность — 212—214;
 см. также Относительности теория;
 и кривизна пространства — 462;
 математическая простота теории — 512—513;
 общая теории *о.* — 255, 514;
 операциональные определения — 463;
 принципы *о.* — 227—230;
 и роль эмпирической философии в критике признания абсолютного пространства — 447;
 спекулятивная теория *о.* — 255, 460;
 «творение» материи — 242—247;
 и физическая гипотеза — 231—236;
 четырехмерное пространство — 460—461;
 роль опыта в математике — 163;
 световые кванты — 95, 96, 314—315;
 механический импульс фотона — 321—322.
 Эквивалентности принцип — 255.
 Экономии принцип в науке — 109—110.
 Эксперимент решающий 95—96.
 Электродинамики законы — 83.
 Электромагнитная теория материи — 225—227;
 значение ее — 226—227.
 Электромагнитного поля теория.
 математическое понятие «ротатор» — 459;
 причинные законы — 408—413.
 Эмерсон Р. У. — 267.
 Эмпиризм
 аксиомы геометрии — 125—126;
 подготовил признание принципа относительности Эйнштейна — 447;
 и понятия вероятности — 493.
 Энергетика — 366.
 Эрикек Фредерико — 162.
 Энциклопедия британская («Encyclopedia Britannica») — 286.
 Эпикурейская философия и проблемы морального поведения — 517.
 Эпициклы — см. Птолема система.
 Эргодическая теорема — 442.
 Эфира теория — 95, 220 — 221.
- Юм Давид — 182—183, 498;
 о причинности — 421—422.
 Юнг Т. — 309, 310

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	37
Введение. Какая польза в философии науки?	41
<i>Глава 1.</i> Цепь, связывающая науку с философией	55
<i>Глава 2.</i> Разрыв цепи	82
<i>Глава 3.</i> Геометрия — пример науки	117
<i>Глава 4.</i> Законы движения	170
<i>Глава 5.</i> Движение, свет и относительность	212
<i>Глава 6.</i> Четырехмерная и неевклидова геометрия	248
<i>Глава 7.</i> Метафизические интерпретации релятивистской физики	267
<i>Глава 8.</i> Движение атомных объектов	301
<i>Глава 9.</i> Новый язык атомного мира	325
<i>Глава 10.</i> Метафизические истолкования атомного мира	356
<i>Глава 11.</i> Причинные законы	394
<i>Глава 12.</i> Принцип причинности	418
<i>Глава 13.</i> Наука науки	444
<i>Глава 14.</i> Справедливость теорий	477
<i>Глава 15.</i> Теория высокой степени общности	501

URSS.ru URSS.ru URSS.ru URSS.ru

Представляем Вам наши лучшие книги:



URSS

Методология науки

- Поппер К. Р.* Объективное знание. Эволюционный подход. Пер. с англ.
Поппер К. Р. Все люди — философы. Пер. с нем.
Поппер К. и др. Эволюционная эпистемология Карла Поппера и логика социальных наук: Карл Поппер и его критики. Пер. с англ.
Садовский В. Н. Карл Поппер и Россия.
Яновская С. А. Методологические проблемы науки.
Суриков К. А., Пугачева Л. Г. Ум, в котором мы живем.
Суриков К. А., Пугачева Л. Г. Эпистемология. Шесть философских эссе.
Лекторский В. А. Эпистемология классическая и неклассическая.
Черняк А. Э. Эпистемология неравных возможностей.
Системные исследования. Методологические проблемы. Вып. 1992–2005.
Розин В. М. Демаркация науки и религии. Анализ учения и творчества Э. Сведенборга.
Овчинников Н. Ф. Методологические принципы в истории научной мысли.
Новиков А. С. Научные открытия: Типы, структура, генезис.
Сачков Ю. В. Научный метод: вопросы и развитие.
Баксанский О. Е., Кучер Е. И. Когнитивно-синергетическая парадигма НЛП.
Бранский В. П. Теория элементарных частиц как объект методологического исследования.

История науки

- Сурин А. В., Панов М. И.* (ред.) Судьбы творцов российской науки.
Бонгард-Левин Г. М., Захаров В. Е. (ред.) Российская научная эмиграция.
Визгин В. П. Идеи множественности миров: Очерки истории.
Болуш А. А. Очерки по истории физики микромира.
Абрамов А. И. История ядерной физики.
Тимошенко С. П. История науки о сопротивлении материалов.
Юревич В. А. Астрономия доколумбовой Америки.
Хайтун С. Д. История парадокса Гиббса.
Тропи Э. А., Френкель В. Я., Чернин А. Д. Александр Александрович Фридман.
Нейгебауер О. Точные науки в древности.
Шереметевский В. П. Очерки по истории математики.
Тодхантер И. История математических теорий притяжения и фигуры Земли.
Ожигова Е. П. Развитие теории чисел в России.
Гнеденко Б. В. Очерк по истории теории вероятностей.
Гнеденко Б. В. Очерки по истории математики в России.
Медведев Ф. А. Очерки истории теории функций действительного переменного.
Медведев Ф. А. Французская школа теории функций и множеств на рубеже XIX–XX вв.
Жизнеописание Льва Семеновича Понтрягина, математика, составленное им самим.
Мышкис А. Д. Советские математики: Мои воспоминания.
Харгиттаи И. Откровенная наука. Пер. с англ. Кн. 1, 2.
Золотова Ю. А. Делющие науку. Кто они? Из записных книжек.
Золотова Ю. А. Химики в других областях или на других Олимпах.
Гиппократ. О природе человека.

Представляем Вам наши лучшие книги:



URSS

Серия «Из наследия мировой философской мысли»

«Философия науки»

- Аристотель. Физика.*
- Дюгем П. Физическая теория. Ее цель и строение.*
- Пуанкаре А., Кутюра Л. Математика и философия.*
- Дриш Г. Витализм. Его история и система.*
- Кроль Дж. Философская основа эволюции.*
- Рей А. и др. Борьба за физическое мировоззрение.*
- Энгельмейер П. К. Теория творчества.*
- Васильев А. В. Пространство, время, движение.*
- Ренан Э. Будущее науки.*

«Теория познания»

- Мессер А. Введение в теорию познания.*
- Клейнпетер Г. Теория познания современного естествознания.*
- Шукарев А. Н. Проблемы теории познания.*
- Викторов Д. и др. Теория познания.*
- Липс Т. Философия природы.*

Серия «Из наследия Б. М. Кедрова»

- Кедров Б. М. Единство диалектики, логики и теории познания.*
- Кедров Б. М. О повторяемости в процессе развития.*
- Кедров Б. М. Беседы о диалектике.*

Серия «Из наследия И. Т. Фролова»

- Фролов И. Т. Философия и история генетики. Поиски и дискуссии.*
- Фролов И. Т. Очерки методологии биологического исследования.*
- Фролов И. Т. Перспективы человека.*

Серия «Bibliotheca Scholastica». Под общ. ред. *Апполонова А. В.* Билингва: параллельный текст на русском и латинском языках.

- Вып. 1. *Базий Лакцийский. Сочинения.*
- Вып. 2. *Фома Аквинский. Сочинения.*
- Вып. 3. *Уильям Оккам. Избранное.*
- Вып. 4. *Роберт Гроссетест. Сочинения.*

<p>Тел./факс: (495) 135-42-46, (495) 135-42-16, E-mail: URSS@URSS.ru http://URSS.ru</p>	<p>Наши книги можно приобрести в магазинах:</p> <ul style="list-style-type: none"> «Библио-Глобус» (м. Лубянка, ул. Мясницкая, 6. Тел. (495) 625-2457) «Московский дом книги» (м. Арбатская, ул. Новый Арбат, 8. Тел. (495) 203-8242) «Молодая гвардия» (м. Политеха, ул. Б. Полянка, 28. Тел. (495) 238-5801, 780-3370) «Дом научно-технической книги» (Ленинский пр-т, 40. Тел. (495) 137-6019) «Дом книги на Ладомской» (м. Бауманская, ул. Ладомская, 8, стр. 1. Тел. 267-0302) «Гневик» (м. Университет, 1 гун. корпус МГУ, комн. 141. Тел. (495) 939-4712) «У Кентавра» (РГТУ) (м. Новослободская, ул. Чапаева, 15. Тел. (499) 973-4301) «СПб. дом книги» (Невский пр., 28. Тел. (812) 311-3954)
--	---

Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Наше издательство специализируется на выпуске научной и учебной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений. Мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.



URSS

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

- Ивин А. А.* Философия науки.
Шредингер Э. Мой взгляд на мир. Пер. с нем.
Борн М. Моя жизнь и взгляды. Пер. с англ.
Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики.
Гейзенберг В. Часть и целое (беседы вокруг атомной физики).
Карнап Р. Философские основания физики. Введение в философию науки.
Бунге М. Философия физики.
Кузнецов Б. Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна.
Кузнецов Б. Г. История философии для физиков и математиков.
Кузнецов Б. Г. Беседы о теории относительности.
Кузнецов Б. Г. Ценность познания. Очерки современной теории науки.
Кузнецов Б. Г. Принцип дополнительности.
Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике.
Аксенов Г. П. Причина времени.
Рейхенбах Г. Философия пространства и времени.
Рейхенбах Г. Направление времени.
Уиттроу Дж. Естественная философия времени.
Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени.
Вигнер Э. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии.
Вяльцев А. Н. Дискретное пространство-время.
Минасян Л. А. Единая теория поля. Опыт синергетического осмысления.
Могилевский Б. М. Природа глазами физика.
Захаров В. Д. Физика как философия природы.
Койре А. Очерки истории философской мысли.
Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация.
Реньи А. Диалоги о математике.
Вейль Г. О философии математики.
Харди Г. Г. Апология математика.
Светлов В. А. Философия математики.
Хайтун С. Д. Феномен человека на фоне универсальной эволюции.
Хайтун С. Д. От эргодической гипотезы к фрактальной картине мира.
Бейтсон Г. Разум и природа: неизбежное единство. Пер. с англ.
Бейтсон Г. Шаги в направлении экологии разума. Кн. 1-3. Пер. с англ.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
 тел./факс (495) 135-42-16, 135-42-46
 или электронной почтой URSS@URSS.ru
 Полный каталог изданий представлен
 в Интернет-магазине: <http://URSS.ru>

Научная и учебная
литература

Об авторе

Филипп ФРАНК (1884–1966)

Известный американский физик и философ австрийского происхождения. Учился в Венском университете (1902–1905), получил степень доктора философии (1907). Преподавал также в Немецком университете Праги (1912–1918), где заменил на кафедре А. Эйнштейна. В 1920–1930-е гг. участвовал в работе Венского кружка и примыкал к движению логического позитивизма. После эмиграции в США (1938) Франк преподавал в Гарвардском университете (профессор с 1940 г.) физику и философию науки.

Философские взгляды Франка сложились под влиянием идей Э. Маха, А. Пуанкаре и П. Дюгема. В своих работах, получивших широкую популярность, он подчеркивал связь теоретических концепций науки со здравым смыслом, вырабатывая в общедоступной форме единый взгляд на мир, определяющий принципы человеческого поведения и деятельности. В этой связи Франк видел одну из центральных задач философии в гуманизации наук и преодолении разрыва между естественными и гуманитарными дисциплинами. В последние годы жизни Франк особенно интересовался общекультурными и психологическими, а также социальными и историческими аспектами естественных наук.

Наше издательство предлагает следующие книги:



4877 ID 52274

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА



Тел./факс: 7 (495) 135-42-16
Тел./факс: 7 (495) 135-42-46



URSS

E-mail:
URSS@URSS.ru
Каталог изданий
в Интернете:
<http://URSS.ru>

Любые отзывы о настоящем издании, а также обнаруженные опечатки присылайте по адресу URSS@URSS.ru. Ваши замечания и предложения будут учтены и отражены на web-странице этой книги в нашем интернет-магазине <http://URSS.ru>