



Герман Вейль



**РАЗУМ
И ПРИРОДА**

УДК 501+16
ББК 22+87.2
В26

Вейль Г.

Разум и природа

Перевод с английского Н. В. Цилевич

Редактор: кандидат философских наук А. В. Родин

Электронное издание

М.: МЦНМО, 2020

143 с.

ISBN 978-5-4439-3309-2

В книге впервые на русском языке публикуется ряд статей, отражающих взгляды выдающегося математика Г. Вейля на философские основы математики и физики.

Подготовлено на основе книги: *Г. Вейль. Разум и природа* / Перев. с англ. Н. В. Цилевич. — М.: МЦНМО, 2019. — ISBN 978-5-4439-1309-4

Научно-популярное издание

Издательство Московского центра
непрерывного математического образования
119002, Москва, Большой Власьевский пер., 11. Тел. (499) 241-08-04
<http://www.mccme.ru>

ISBN 978-5-4439-3309-2

© МЦНМО, 2020.

Предисловие

Труды выдающегося математика Германа Вейля (1885—1955) хорошо известны в России. На русский язык были переведены его книги по теории чисел, теории групп, квантовой механике и теории относительности (см. [1—4]). Его труды были изданы в серии «Классики науки» (см. [5]).

Г. Вейль работал в самых разных областях математики и физики: алгебре, теории чисел, математической логике, теории дифференциальных уравнений, дифференциальной геометрии, электродинамике, общей теории относительности. Кроме того, он занимался вопросами обоснования математики и философии науки (см. [6—9]).

В настоящий сборник входят три ранее не издававшиеся на русском языке работы, отражающие философские взгляды ученого. Перевод выполнен по изданию [10].

- [1] *Г. Вейль*. Алгебраическая теория чисел / Перев. с англ. Л. И. Копейкиной. — М.: ГТТИ, 1947.
- [2] *Г. Вейль*. Классические группы. Их инварианты и представления / Перев. с англ. Д. А. Райкова. — М.: ИЛ, 1947.
- [3] *Г. Вейль*. Теория групп и квантовая механика / Перев. с англ. Б. И. Галаева и С. Г. Шеховцева под ред. Д. П. Желобенко. — М.: Наука, 1986.
- [4] *Г. Вейль*. Пространство. Время. Материя. Лекции по общей теории относительности / Перев. с нем. Вл. П. Визгина. — Янус, 1996.
- [5] *Г. Вейль*. Избранные труды: Математика. Теоретическая физика / Перев. М. И. Зеликина, С. П. Демушкина, З. А. Кузичевой, Ф. А. Богомолова, А. Г. Кушниренко, А. Н. Паршина, А. П. Василевича, Е. И. Коркиной, Д. Б. Фукса под ред. В. И. Арнольда и А. Н. Паршина. — М.: Наука, 1984.
- [6] *Г. Вейль*. О философии математики / Перев. с нем. и вступ. статья А. П. Юшкевича. — М.; Л.: ГТТИ, 1934.
- [7] *Г. Вейль*. Симметрия / Перев. с англ. Б. В. Бирюкова и И. Ю. Данилова под ред. Б. А. Розенфельда. — М.: Наука, 1968.

- [8] *Г. Вейль*. Полвека математики / Перев. с англ. З. А. Кузичевой. М.: Знание, 1969.
- [9] *Г. Вейль*. Математическое мышление / Перев. с англ. и сост. Ю. А. Данилова под редакцией Б. В. Бирюкова и А. Н. Паршина. — М.: Наука, 1989.
- [10] *H. Weyl*. Mind and Nature. Selected Writings on Philosophy, Mathematics, and Physics. — Princeton: PUP, 2009.

Временные соотношения в космосе, собственное время, прожитое время, метафизическое время

1927

1. Возможные пространственно-временные положения, или мировые точки, в математическом смысле образуют четырёхмерный континуум. Считается, что этот факт уже задаёт определённую структуру в среде внешнего мира, — если верить, что расщепление мира на *абсолютное пространство* и *абсолютное время* имеет объективный смысл, т. е. про два отделённых друг от друга строго ограниченных пространственно-временных события можно утверждать, что они происходят в одном и том же месте (в разное время) или в одно и то же время (в разных местах). Все мировые точки, соответствующие одному и тому же времени, образуют трёхмерную *страту*, все мировые точки, соответствующие одному и тому же положению, образуют одномерный *слой*. Согласно этой точке зрения, структуру мира также можно описать, сказав, что мир обладает расслоением и пересекающей его слои стратификацией.

Если задавать четырёхмерный континуум с помощью координат, то он будет представляться четырёхмерным числовым пространством — континуумом всех четвёрок чисел. Только лишь для того, чтобы иметь возможность использовать более привычное описание, заменим числовое пространство, сократив его на одну размерность, интуитивным пространством с декартовой системой координат. Такое произвольно выбранное отображение необходимо, если мы хотим пользоваться обычными геометрически-кинематическими терминами. Двумерным его аналогом является географическая карта. Говоря о конкретной карте, можно утверждать, что три точки Земли лежат на одной прямой, но никому не придёт в голову интересоваться, верно ли это свойство для другой карты. Объективное содержание имеют лишь те соотношения, которые при любой деформации картинки сохраняют независимость от выбранного отображения. — Геометрическое описание мира не наглядно, оно скорее

точно воспроизводит положение вещей, если концепцию континуума понимать в абстрактном математическом смысле. Наглядным изображением будет, только если заменить числовое пространство пространством интуитивным.

Страта, проходящая через мировую точку O (*настоящее* для O), разделяет *прошлое* и *будущее*. Как осознал ещё Лейбниц, истинный смысл этого разделения — причинный: абстрактные временные соотношения в космосе должны выражать *действенное отношение*, причинную структуру мира. Однако в том, что касается этих абстрактных временных соотношений, современная наука, имея на то убедительные основания, пришла к необходимости существенных поправок. Разделение на прошлое и будущее — на ту часть мира, на которую могут повлиять действия, совершаемые в точке O , и на ту часть, действия в которой могут повлиять на происходящее в точке O , осуществляет не «страта», а конусообразная фигура с вершиной в O — *световой конус*. Интуитивное понимание этих соотношений не представляет ни малейших трудностей, если всегда спрашивать о возможном действенном отношении двух событий, а не об их временном соотношении. По существу, действительно важное различие между световыми конусами и стратами заключается в следующем: если мировая точка O' лежит на страте, проходящей через точку O , то страта, проходящая через O' , совпадает со стратой, проходящей через O . Однако же если O' лежит на световом конусе с вершиной O , то световой конус, исходящий из O' , никоим образом не совпадает со световым конусом, исходящим из O .

2. Чтобы пояснить основные свойства взаимоотношений между внешним миром и воспринимающим его сознанием, я упрощу своё чувственное тело до *точечного глаза*. Этот точечный глаз описывает некоторую мировую линию. Расположение и последовательность точек этой мировой линии соответствуют прожитому «раньше» и «позже» имманентного времени. Типичный случай, на примере которого видны все ключевые свойства, — это наблюдение за двумя или более звёздами. На рис. 1 представлены элементы, от которых зависит угловое расстояние θ между звёздами: мировая линия B наблюдателя, на ней мировая точка O , в которой происходит наблюдение, направленный назад световой конус K , исходящий из точки O ; далее, две мировые линии звёзд Σ , каждая из которых соприкасается с конусом K в единственной точке, и мировые линии двух световых сигналов, приходящих от звёзд в точку O . Величина угла θ вычисляется по этим данным с помощью конструкции,

описываемой в чисто арифметических терминах. Эта величина инвариантна: если осуществить произвольную деформацию изображения, а затем вычислить угол θ для деформированного изображения согласно той же процедуре, то мы получим то же самое значение. Такие углы θ между любой парой звёзд созвездия и определяют его видимую форму, которую нельзя описать объективным образом, а можно только ощутить интуитивно. Эта видимая форма возникает лишь в предположении, столь же непостижимом объективно, что я — точечный глаз. Если все углы θ для двух созвездий совпадают, их видимая форма представляется нам одинаковой; если нет, то разной.

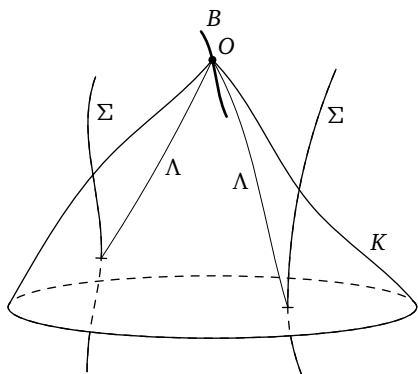


Рис. 1

Непосредственный опыт субъективен и абсолютен. Напротив, объективный мир с необходимостью относителен и может быть представлен чем-то конкретным, числами или другими символами, лишь после того, как в мир произвольным образом введена система координат. Мне кажется, в этой паре противопоставлений — субъективное-абсолютное и объективное-относительное, — содержится один из самых фундаментальных эпистемологических выводов, извлекаемых из естественных наук. Необходимость введения системы координат восходит к базовому эпистемологическому факту — взаимопроникновению *Этого* («здесь и сейчас») и *Того*. Такое взаимопроникновение есть общая форма сознания: нечто существует лишь в той мере, в какой совпадают непрерывная протяжённость и непрерывное качество. Следствием этой двойственной природы реальности является то, что теоретическую картину сущего мы мо-

жем составить лишь *в контексте Возможного*. Так, в частности, протяжённая четырёхмерная среда мира есть поле возможных совпадений. Введение системы координат оказывается неизбежным, потому что мы должны описать структуру мира, которую нельзя считать с реальных событий, но можно вывести лишь из многообразия событий, находящихся в потенциальной согласии с законами природы.

Согласно Эйнштейну, в мире есть *объективное определение меры*, в соответствии с которым различные части мировой линии тела можно измерять друг относительно друга (*собственное время*). Чтобы временно поставить теорию в соприкосновение с опытом, Эйнштейн определяет собственное время через показания часов, перемещающихся вместе с движущимся телом. Однако в действительности поведение часов под действием метрического поля обусловлено их собственным материальным строением и законами причинности; на него нельзя повлиять с помощью определения. — Прожитое время сознания, помимо упорядочения «раньше» и «позже», также включает в себя некое неявное измерение: *непосредственную оценку прожитого времени*. Несомненно, физической основой для него также является собственное время, но это собственное время, в не меньшей степени, чем хронометраж часов, зависит от многих случайных обстоятельств, тщательно исследовать которые пытались психологи.

3. Прожитое время — это продолжительное *«сейчас»*, заполненное изменяющимся содержанием. Но каждая мгновенная фаза прожитого из режима «происходит сейчас» переходит в режим «произошло только что»; это запечатлённое в ретенции погружение в прошлое, как и протенция возносящегося в настоящее будущего, также принадлежит непосредственному времени. Напротив, воспоминание — это акт воскрешения в памяти тех элементов сознания, которые, будучи уже прожитыми, исчезли; здесь уже образуются объективные структуры, чувственное содержание которых считается неизменным, независимым от «проживания». Таким образом время, благодаря связи между «раньше» и «позже», выстраивается в одномерный континуум временных точек, к которым привязаны прожитые содержания. Сознание скользит вдоль этой временной прямой и по очереди пробуждает точки к жизни «сейчас», непосредственного настоящего. Мир, простирающийся в четырёхмерном пространстве, просто *существует*, он не *происходит*. Лишь в глазах сознания, ползущего вверх по мировой линии своего тела, какое-то

сечение этого мира оживает и проплывает мимо него как изменяющееся во времени пространственное изображение.

В этом описании *метафизическое время* выступает как связующее звено между объективным временем — математической схемой упорядочения точек на мировой линии я-тела — и временем, которое я проживаю. Разумеется, объективный мир, выразимый только в математических символах, можно постичь лишь исходя из того, что дано в опыте, — через абстракцию, объективизацию, тотализацию, проекцию на горизонт возможного; если оборвать эту связь, останется лишь чистая игра знаков, лишённых «содержания». Таким образом, с эпистемологической точки зрения данные сознания первичны, однако в том, что касается оснований Бытия, разум не в силах не полагать первичным объективный мир. *Метафизика* есть попытка осуществить такое обращение. Отсюда следует метафизический смысл теории относительности — она показала, или по крайней мере подтвердила с физической точки зрения, что радикальная модификация Бытия через время, которую мы выражаем словами «Бытие сейчас», оставляет свой отпечаток не в мире, но в монадах. Мы не будем здесь касаться вопроса о возможности метафизики; в этом смысле подчёркнутое выше противопоставление субъективного-абсолютного и объективного-относительного несёт в себе недвусмысленное предостережение по части усилий метафизики, направленных на объективное-абсолютное Бытие.

Точечная природа «сейчас» внутри временного континуума создаёт некоторые трудности с понятием метафизического времени, ибо внутри континуума отдельная точка — без окрестности, связывающей её со всем континуумом, — существовать не может. Точка в континууме — это не элемент множества, а скорее идеальная граница непрерывных разбиений. Однако считается, что настоящее проникает в сознание строго точечным образом и истекает в той же самой временной точке. На мой взгляд, выход здесь подсказывают факты атомической теории. Все физические характеристики элементарных частиц вещества, в частности электронов, считываются с окружающего их *поля*; приложение геометрических, механических, физических понятий к самому электрону и его протяжённости, по-видимому, не имеет смысла. Соответственно, хочется обращаться с материальными частицами как с чем-то потусторонним, не имеющим протяжённости. Такая частица сама по себе не является пространственной, она лишь лежит в некоторой пространственной окрестности, из которой исходят производимые ею воз-

действия. Используя полунаглядный оборот, можно сказать, что мировой континуум вырастает из чисто воображаемого бесшовного континуума, внутри которого вырезаются отдельные мировые трубки (*Weltröhren*), составляющие мировую линию различных материальных частиц, до сих пор фигурировавших в нашей интерпретации. Однако внутренность трубок, включая ограничивающую их оболочку, уже не принадлежит миру — это шов, который, подобно бесконечно удалённой точке, недостижим изнутри поля. В таком случае не существует никакого точечного «сейчас», равно как и точного «раньше» и «позже». Грубо говоря, тогда всё происходит так, будто точечная жизнь, связанная с телом, которая пробуждает объективный мир для сознания, обладает не только рассеянной пространственной протяжённостью, но также и рассеянной временной протяженностью. Непосредственное настоящее обрывается не совсем резко; яркий свет мгновности всегда сопровождается небольшим ореолом, быстро затухающим к прошлому и будущему.

Открытый мир. Три лекции о метафизическом значении науки

1932

Предисловие

Следующие три лекции объединяет одна общая мысль: современное естествознание (насколько я могу судить о нём в силу моих собственных научных исследований), математика и физика представляют мир всё более открытым — не замкнутым, но распахнутым вовне. Или, как выразительно сформулировал это Франц Верфель в одном из своих стихотворений,

*Diese Welt ist nicht die Welt allein.*¹

Наука вынуждена — в силу одновременно эпистемологических, физических и конструктивно-математических аспектов своих методов и результатов — принимать в расчёт это обстоятельство. Следует добавить, что наука может лишь продемонстрировать нам этот открытый горизонт; мы не должны, включая в рассмотрение трансцендентную сферу, пытаться вновь выстроить замкнутый (пусть и более обширный) мир.

Я благодарен Йельскому университету за предоставленную мне возможность в данных лекциях имени Терри выразить эту свою убеждённость, описав методологию математики и физики. Исходно лекции были написаны на немецком. Я не хотел бы пренебречь выражением своей признательности моему другу, доктору Лулу Хофман из Колумбийского университета (Нью-Йорк), за её преданную помощь в переводе моих рукописей на английский язык в этом и других аналогичных случаях.

Г. В.
Йельский университет
15 апреля 1931 г.

¹Этот мир — не только мир один (нем.).

I. Бог и Вселенная

К вам выходит математик, рассуждает о метафизике и без стеснения поминает имя Бога. По нынешним временам, это необычно. Математик, согласно представлениям современной публики, занимается исключительно сухими и специальными вопросами, он проводит всё более сложные вычисления и всё более искусные геометрические построения, но никак не касается решения тех духовных вопросов, которые на самом деле волнуют человека. В иные времена дело обстояло иначе. Пифагор, чья фигура почти растворяется во мгле мифологии, создав фундаментальное учение о том, что суть вещей заключена в числах, одновременно возглавил математическую школу и стал основателем религии. Глубочайшее метафизическое учение Платона — его учение об идеях — в строгом изложении облекалось в математические одежды; это было учение об идеальных числах, через которые разум должен постичь структурное устройство мира. Пространственные фигуры и соотношения, которые изучает геометрия — наполовину понятийная категория, а наполовину чувственное восприятие, — были для него посредниками между явлением и идеей. Он отказывал в приёме в академию тем, кто не имел математической подготовки. Подчинённость математическим законам и гармония природы представлялись Платону божественным единством разума и духа. Вот цитата из двенадцатой книги «Законов»:

Итак, мы знаем, что относительно богов есть два убедительных довода, которые мы уже разобрали. <...> Один касается, как мы указывали, души и гласит, что она самая старшая и божественная из всех вещей <...>. Другой довод касается всеобщего движения: в нём наблюдается стройный порядок, так как над светилами и прочими телами господствует всё упорядочивающий ум. <...>

В наше время понимание этих вещей прямо противоположно тому, которое существовало, когда мыслители считали всё это неодушевлённым. Впрочем, и тогда уже преисполнялись удивлением и подозревали здесь то, что теперь действительно установлено людьми, тщательно этим занимавшимися, ведь уже тогда предполагали, что при неодушевлённости тел, не обладающих умом, не могли бы быть выполнены столь удивительно точно все расчёты. Некоторые даже отваживались уже тогда выставлять рискованное положение, что ум привёл в стройный порядок всё то, что находится на небе. Но те же самые люди снова допустили ошибку в понимании природы души и того, что она старше

тел. Считая, напротив, её моложе, они снова, так сказать, повернули всё вспять, особенно же самих себя. Всё то, что проносилось по небу у них на глазах, показалось им наполненными камнями, землёй и многими иными неодушевлёнными телами, на которые разделились первоначально космоса. Это-то и вызвало тогда появление безбожия и отвращение к такого рода занятиям. Сюда добавилось также поношение: поэты стали сравнивать философов с собаками-пустолайками и твердить другие бессмыслицы. А сейчас, как было сказано, всё обстоит наоборот.

Никто из смертных не может стать твёрдым в благочестии, если не усвоит двух только что указанных положений. Первое — что душа старше всего, что получило в удел рождение; она бессмертна и правит всеми телами; второе — что в звёздных телах, как мы не раз говорили, пребывает ум всего существующего. Следует усвоить предваряющие эти положения необходимые знания, чтобы заметить их общность с мусическими искусствами и воспользоваться ими для нравственного усовершенствования в согласии с законами и чтобы быть в состоянии отдать себе разумный отчет во всём том, что разумно.¹

Космология Аристотеля, в которой проводится различие между земным подлунным миром и небесной сферой, приведённой во вращение «неподвижным перводвигателем», в сочетании с птолемеевой системой мира, помещающей Землю в центр Вселенной, образует жёсткий каркас, на котором средневековая церковь выстроила свои догматы Бога, Спасителя, ангелов, человека и Сатаны. «Божественная комедия» Данте — это не просто грандиозное видение, она содержит описание смелой теологической и геометрической конструкции космоса, посредством которой христианская философия приспособливает космологию Аристотеля к своим собственным нуждам. Если Вселенная Аристотеля ограничена сферой — хрустальной сферой, за которой больше нет никакого пространства, — то у Данте лучи, исходящие из центра Земли, престола Сатаны, сходятся к противоположному полюсу, источнику божественной силы, подобно тому, как линии долготы, исходящие из южного полюса сферы, вновь сходятся на её северном полюсе. Сила персонифицированного Бога обязана исходить из некоторого центра, она не может охватывать мировую сферу, пребывающую в пространственной неподвижности, как «неподвижный перводвигатель» Аристотеля. Для чувственного восприятия, разумеется, аристотелево описание остаётся в силе. Самые внутренние круги, наиболее близко окру-

¹Цит. по изд.: Платон. Законы. М.: Мысль, 1999. Пер. А. Н. Егунова.

жающие божественный источник света, будучи сильнее заряжены божественной силой, становятся более обширными пространственно и включают в себя более удалённые круги. На современном математическом языке мы бы сказали, что Данте выдвигает учение, которое в наши дни из совершенно иных соображений породил Эйнштейн, — учение о том, что трёхмерное пространство замкнуто, на манер двумерной сферической поверхности; однако полюс божественной силы излучает такое метрическое поле, что пространственное измерение приводит к условиям, описанным Аристотелем.

Аристотелева концепция мира была поколеблена Коперником, который осознал относительность движения. Как это знание, эпистемологическое и математическое по своей природе и настолько сложное, что его точная формулировка до сих пор превосходит способности среднего человека к абстрактному мышлению — несмотря на то, что его преподают, хоть и в очень грубой и догматичной форме, в наших школах, — как это осознание могло открыть новую эру в натурфилософии? Только соединившись с религиозным отношением человека ко Вселенной; ибо оно лишило Землю — обиталище человечества — его абсолютной исключительности. Акт искупления, совершённый Сыном Божьим, его распятие и воскресение отныне стали не уникальной вехой в истории мира, но мимолётным действием в одном маленьком уголке Вселенной, повторяющей себя от звезды к звезде. Это кощунство, быть может, выразительнее всего демонстрирует ту угрозу, которую несла для религии теория, сместившая Землю из центра мира. И Джордано Бруно с яростным энтузиазмом принялся её развивать. Аристотель, Птолемей и церковные догмы были для него «трёхглавым зверем схоластики», с которым он сражался всю свою беспокойную жизнь. В переходе от мира Аристотеля, заключённого в хрустальную сферу и упорядоченного иерархически в соответствии со строго различаемыми формами бытия, к равнодушной протяжённости бесконечного евклидова пространства, всюду устроенного одинаково и всюду заполненного звёздами, — концепции, лежащей в основе новой натурфилософии, — он видел великое освобождение. В книге «Воззрение на мир и исследование человека со времён Возрождения и Реформации» Дильтей пишет: «Основой нового европейского пантеизма является понимание однородности и непрерывной связи всех частей мироздания». Первыми глашатаями новой концепции стали Николай Кузанский и Джордано Бруно. Подобно Пифагору, Бруно счи-

тал себя провозвестником «Святой Религии», основанной на новых математических знаниях. Замена антропоцентрической точки зрения, подкрепляемой чувственной кажимостью, на космоцентрическую, являющуюся достижением астрономии, была для него лишь частью великой революции, совершённой в человеческом разуме новой коперниканской эрой. Ей соответствует столь же глубокая и радикальная революция в религиозной и моральной сфере. Чувственное сознание сосредоточено на поддержании физического существования, заключённого между рождением и смертью. С избавлением разума от воздействия чувственной кажимости в результате астрономических открытий и их философского осмысления человек возвышается до божественной любви и космических проявлений Бога. Лишь теперь мы можем постичь истинное совершенство Вселенной, источник которого — в отношении её частей к целому, и тем самым отказаться от неуместных требований к божественному порядку, корнящихся в желании индивидуума увековечить своё собственное существование.

Идеи Бруно, распространившиеся благодаря их влиянию на Спинозу и Шефтсбери, привели к оправданной, радикальной, чрезвычайно важной и многообещающей перемене в религиозном мировоззрении западного христианства. В основе религиозной веры всегда лежат два аспекта: один — космический по своей природе, устанавливающий зависимость человека от Вселенной и его взаимоотношения с ней; другой — личностный, связанный с моральным достоинством, свободой и личной ответственностью. Однако оба они подвержены изменениям и прогрессу, обусловленному прогрессом в культуре. По-видимому, в этом был убеждён и основатель данных лекций. Но чем больше современное естествознание, особенно в физике и математике, стремится постичь природу как она есть или как она создана Богом, тем дальше оно вынуждено отходить от человеческих — слишком уж человеческих — представлений, которыми мы естественно реагируем на внешнее окружение в нашей жизни, исполненной борьбы за существование и практической деятельности. И тем более странным и непостижимым оно неизбежно становится для тех, кто не может посвятить всю свою энергию и всё своё время развитию и перестройке своего теоретического мышления; в этом и заключается подлинная и неизбежная трагедия нашей культуры. Ибо философское и метафизическое значение естествознания не уменьшилось, а только увеличилось с его отрывом от наивного мира человеческих представлений.

До сих пор я говорил об астрономических исследованиях и космологических гипотезах — в контексте того, как наше понимание Бога и божественного действия формируется и трансформируется вместе с подобными гипотезами. Далее я вернусь к этому вопросу, рассмотрев его чуть более систематически. Но даже оставляя в стороне тот факт, что математика — это незаменимый инструмент естествознания, само по себе чисто математическое исследование, по убеждению многих великих мыслителей, в силу своего особого характера, своей строгости и точности, возвышает человеческий разум до такой близости к божественному началу, какая недостижима никаким другим способом. *Математика — это наука о бесконечном*, её цель — символическое постижение бесконечного человеческими, т. е. конечными, средствами. Величайшее достижение греков состоит в том, что противопоставление конечного и бесконечного они превратили в плодотворный инструмент постижения реальности. Для Востока характерно интуитивное ощущение бесконечного, его спокойное безоговорочное принятие; но оно остаётся чисто абстрактным осознанием, безразличным к конкретному многообразию действительности, оставляя её несформированной, непознанной. Придя с Востока, религиозно-интуитивное понимание бесконечного, *апейрон*, овладело греческой душой в дионисийско-орфическую эпоху, предшествовавшую греко-персидским войнам. И в этом отношении греко-персидские войны знаменуют собой отделение Запада от Востока. Конфликт между конечным и бесконечным и его разрешение отныне становятся движущей силой греческой науки; но любой синтез, едва будучи достигнут, заставляет старый конфликт прорываться наружу вновь на более глубоком уровне. И этот процесс определяет историю теоретического познания мира вплоть до наших дней.

Идею связи между математикой бесконечного и восприятием Бога особенно пылко преследовал Николай Кузанский — мыслитель, ещё в середине XV века то страстно, а то в пророческом озарении выведивший новую мелодию мысли, которая благодаря Леонардо да Винчи, Бруно, Кеплеру и Декарту постепенно развилась в триумфальную симфонию. Он прекрасно понимал, что схоластическое мышление, логика Аристотеля, основанная на принципе исключённого третьего, будучи по самой своей сути логикой конечного, не в состоянии достичь той цели, для которой её использует схоластик, — дать возможность размышлять об абсолюте, о бесконечном. Она всегда и неизбежно даёт сбой, как только

речь заходит о восприятии бесконечного. В итоге любая «рациональная» теология отвергается, а её место занимает теология «мистическая». Но Николай Кузанский выходит за рамки традиционных представлений о логике, как и традиционных представлений о мистицизме; ибо с той же решительностью, с какой он отрицает возможность постижения бесконечного через логику конечного, отвергает он и возможность его постижения посредством простого чувственного восприятия. Истинная любовь к Богу — это *amor Dei intellectualis* [интеллектуальная любовь к Богу]. А для описания природы и цели того интеллектуального акта, в котором нам являет себя божественное начало, Николай Кузанский ссылается не на мистическую форму пассивного созерцания, а на математику с её символическим методом. «*Nihil veri habemus in nostra scientia nisi nostram mathematicam*» [«В нашем знании нет ничего истинного кроме нашей математики»]. С одной стороны — Бог как бесконечное в своём совершенстве; с другой — человек в его конечности. Но фаустовское стремление к бесконечному, нежелание человека довольствоваться единожды данным и достигнутым — это не порок и не гордыня, но свидетельство его божественного предназначения. Это стремление находит своё простейшее выражение в последовательности чисел, которую можно продолжить сколь угодно далеко многократным прибавлением единицы. Здесь мы наблюдаем удивительное явление, уникальное в истории философии: математическая точность ищется и ценится не ради себя самой, не как основа для объяснения природы, но чтобы служить фундаментом для более глубокого понимания Бога. Николай Кузанский — один из мыслителей, открывших новую эру как в теологии, так и в математике. «Все наши мудрые и божественные учителя, — говорится в его трактате «Об учёном незнании», — сходились в том, что видимое поистине есть образ невидимого, и что творца, таким образом, можно увидеть по творению как бы в зеркале и подобии»¹. Но даже если духовное остаётся недоступным для нас, даже если мы никогда не сможем постичь его иначе как в образах или символах, нужно хотя бы постулировать, что сами эти символы не содержат ничего сомнительного и туманного: они должны обладать той определённой и систематической согласованностью, которая достижима лишь с помощью математики. Отсюда дорога ведёт к Леонардо,

¹Цит. по изд.: Николай Кузанский. Сочинения в 2-х томах. Т. 1. М.: Мысль, 1979. Пер. В. В. Библихина.

Кеплеру и Галилею, которые после двухтысячелетнего периода простого наблюдения над природой положили начало её подлинному анализу, теоретическому построению природы символьными математическими средствами. Что же касается сути математического знания, рассматриваемого как символическая *mathesis universalis* (универсальная наука), Кузанский предвидел и исповедовал идеи, которые обрели более чёткую форму лишь во времена Лейбница; более того, их полного понимания мы достигаем только сейчас — в самых недавних попытках преодолеть антиномии бесконечного чисто символьной математикой. К этой теме мы вернёмся в третьей лекции.

Согласно «Пробирных дел мастеру» Галилея, для спекулятивной метафизики философия, подобно книге, есть продукт чистого воображения, как «Илиада» или «Неистовый Роланд», и не имеет никакого значения, истинно ли то, что в ней говорится.

В действительности же всё обстоит не так. Философия написана в величественной книге (я имею в виду Вселенную), которая постоянно открыта нашему взору, но понять её может лишь тот, кто сначала научится постигать её язык и толковать знаки, которыми она написана. Написана же она на языке математики.¹

Идеальность математики возносит человеческий разум к вершинам его совершенства: она рушит барьеры, возведённые средневековой мыслью между природой и разумом, и в каком-то смысле даже барьеры между разумом человеческим и божественным. Вновь процитирую Галилея:

Я утверждаю, что человеческий разум познаёт некоторые истины столь совершенно и с такой абсолютной достоверностью, какую имеет сама природа; таковы чистые математические науки, геометрия и арифметика; хотя божественный разум знает в них бесконечно больше истин, ибо он объёмлет их все, но в тех немногих, которые постиг человеческий разум, я думаю, его познание по объективной достоверности равно божественному, ибо оно приходит к пониманию их необходимости, а высшей степени достоверности не существует.²

¹Цит. по изд.: Галилей Г. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987. Пер. Ю. А. Данилова.

²Цит. по изд.: Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира. М.; Л.: ОГИЗ, 1948. Пер. А. И. Долгова.

А также Кеплера: «Наука о пространстве едина и вечна, она блистает в Божьем духе. Наша причастность к ней служит одним из оснований, по которым человек должен быть образом божьим».

После этого исторического введения я возвращаюсь к главной теме лекции: как в природе проявляется божественное начало? Насколько я понимаю, в истории человеческой мысли этот вопрос получал два основных ответа. Оба они убедительны, но при этом принципиально различны. Первый более прост и объективен: вездесущность Бога в природе — это эфир. Второй более изощрён и формален: божественный разум проявляется в подчинении природы математическим законам.

Значение концепции эфира можно понять лишь в связи с фундаментальными идеями теории относительности. Пространство, многообразие пространственных точек, есть трёхмерный континуум. Изначально это многообразие аморфно, лишено структуры; ничто бы не изменилось, если бы я подверг его какой-нибудь непрерывной деформации наподобие той, что совершают с куском глины. На этом этапе осмысленны утверждения лишь относительно различия или совпадения точек, а также относительно непрерывной связи между точечными конфигурациями. Но кроме того пространство наделено структурой; что проявляется, в частности, в нашей способности различать прямые и кривые линии. Точка и заданное в ней направление однозначно определяют линию, проходящую через эту точку и относящуюся к классу линий, которые мы характеризуем прилагательным «прямые», или «геодезические». Прежде считалось, что среди прямых выделен класс вертикалей, что пространство выстроено вокруг первичного направления сверху вниз. Сегодня мы знаем, что это верно лишь в гравитационном поле, где имеется выделенное направление, которому следуют свободно падающие тела, но что это направление задаётся физическими условиями и меняется вместе с ними. Направление сверху вниз в Калькутте отличается от такого же направления в Нью-Хейвене, причём угол, которые эти направления составляют друг с другом, изменился бы, если бы на Земле изменилось распределение масс, например если бы исчез высокогорный массив в окрестности Калькутты. Этот пример должен наглядно продемонстрировать разницу между жёсткой геометрической структурой, не подверженной воздействию материальных сил, примером которой является так называемая проективная структура, позволяющая нам различать прямые и кривые линии, и структурой, зависящей от материальных воздействий

и меняющейся вместе с ними, которая существует, например, в направленном гравитационном поле.

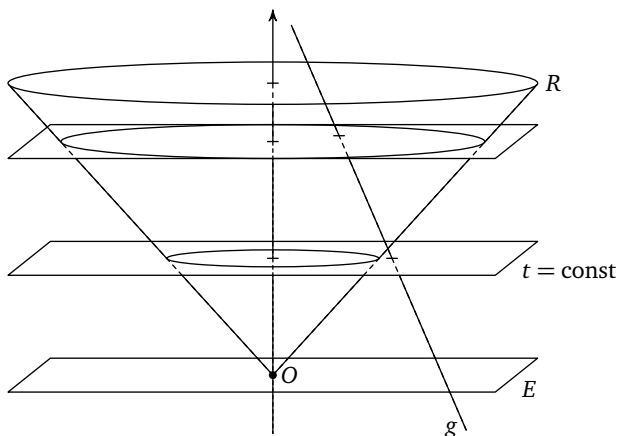


Рис. 2

Обсуждая природные явления, нельзя рассматривать пространство отдельно, необходимо связать его со временем. Говоря «здесь и сейчас», мы явным образом фиксируем точку пространства-времени, или мировую точку. Её можно обозначить моментальной вспышкой или искрой света. Всевозможные мировые точки, или локализации в пространстве-времени, образуют четырёхмерный континуум. Малое тело описывает мировую линию — одномерный континуум мировых точек, через которые оно последовательно проходит в ходе своей истории. Смысл, непосредственно очевидный нашей интуиции, имеют лишь высказывания о том, что два события происходят в одной и той же пространственно-временной точке или же в непосредственной пространственно-временной близости друг от друга. Тот, кто верит в разложение мира на абсолютное пространство и абсолютное время, что позволяет ему говорить о двух различных событиях из одной пространственно-временной окрестности, что они происходят в одном и том же месте, но в разное время или в одно и то же время, но в разных местах, уже наделяет четырёхмерную протяжённую среду внешнего мира определённой структурой. Все одновременные мировые точки образуют трёхмерную страту, все мировые точки с одинаковым пространственным положением составляют одномерный слой. Таким обра-

зом, структуру мира согласно этой точке зрения можно описать, объявив, что она представляет собой стратификацию, пересекаемую слоями. Пока в нашем распоряжении нет подобной структуры, допустимо говорить о покое или движении тела K лишь относительно среды, непрерывно заполняющей пространство, или относительно некоторого тела отсчёта, в которое K погружено или на котором оно находится. В обычной жизни таким телом отсчёта не без оснований служит «твёрдая, покоящаяся Земля». Но кто сказал, что Земля неподвижна, точнее, что мы под этим понимаем? Вера в существование одновременности изначально зиждилась на уверенности каждого человека в том, что наблюдаемые им события происходят в момент наблюдения. Но эта наивная вера утратила позиции давным-давно, с открытием конечности скорости распространения света.

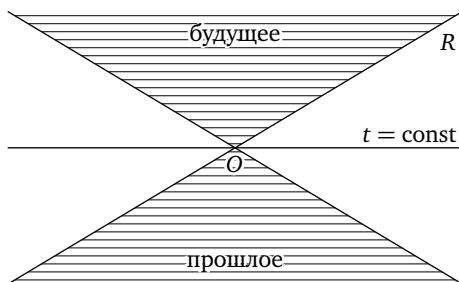


Рис. 3

Теория относительности пришла к чёткому осознанию того, что структура мира не описывается системой страт и слоёв, соответствующих одновременности и одинаковому положению. Она утверждает следующее: (1) Не покой, но равномерное перемещение есть внутренне выделенный класс движений. Это состояние тела, предоставленного самому себе и не подверженного воздействию каких-либо внешних сил. Мировая линия такого тела однозначно определяется начальной точкой и начальным направлением движения; «проективную» структуру, которая проявляется таким образом, физики называют инерциальным направляющим полем. В так называемом законе инерции, согласно которому тело, предоставленное самому себе, движется в пространстве по прямой с постоянной скоростью (в обсуждение чего я, однако, не могу сейчас вдаваться), инерциальная структура понимается как жёсткая геометрическая сущ-

ность. (2) Понятие одновременности заменяется причинной структурой: из каждой мировой точки O в мир простирается трёхмерная конусообразная поверхность, которая задаёт области прошлого и будущего для этой точки, как показано на рисунке. Если в данный момент времени я нахожусь в точке O , то события, на которые могут повлиять мои действия, т. е. те мировые точки, которые достижимы воздействиями из точки O , принадлежат будущему, а те события, которые сами оказывают влияние на происходящее в точке O , относятся к прошлому. Таким образом, прошлое — это то, о чём я, находясь в точке O , могу получить информацию путём прямого восприятия либо же через традиции или воспоминания, основанные на таком восприятии; ибо любое восприятие и любого рода передача информации есть физическая передача действия. Но между прошлым и будущим лежит промежуточная область, с которой я в данный момент не состою ни в активной, ни в пассивной причинной связи. В старой теории прошлое и будущее соприкасались без зазора в страте настоящего — ансамбле мировых точек, одновременных с O . Теперь абстрактные временные соотношения следует заменить везде конкретными причинными связями. Действительное движение тела есть результат противоборства между задающей направление инерцией и отклоняющими силами. Часто цитируемый пример с крушением поезда прекрасно демонстрирует, как борьба между инерцией и молекулярными силами упругости разрывает поезд на части. Итак, мы видим, что данная структура — неважно, как она описывается в точных терминах, — влияет на ход событий самым решительным образом. Задача физика состоит в том, чтобы отделить эту структуру от тех физических явлений, которые она вызывает.

После этих общих замечаний о проблеме относительности я кратко обрисую историю понятия эфира. В философии стоиков эфир возникает сначала как божественный огонь, разлитый в мире, как основа божественных сил творения. О теории эфира у стоиков можно прочесть, например, во второй и третьей книгах трактата «De natura deorum» («О природе богов») Цицерона. В переходный период, к которому принадлежит Джордано Бруно, эта идея смешивается с атомистической концепцией мира, выдвинутой в древности Демокритом и перенятой и развитой эпикурейцами. Для Бруно эфир — это протяжённая материальная сущность, пронизывающая все тела, но не имеющая собственных границ. Понятие эфира было подхвачено естествознанием, и выяснилось, что эта гипотетическая

среда прекрасно подходит на роль переносчика естественных взаимодействий, особенно света, — в отличие от обычных тел, доступных нашим органам чувств благодаря сопротивлению этим взаимодействиям. У Гюйгенса, а также Эйлера мы встречаем светоносный эфир как непрерывно распределённое вещество, состояние которого определяется плотностью и скоростью. Поскольку как целое эфир покоится, а при возбуждениях совершает лишь мельчайшие колебания, он мог бы в то же время обеспечить (гипотетической) физической реальностью ньютоновское метафизическое понятие абсолютного пространства. Но история пошла противоположным путём. Когда в XIX веке выяснилось, что оптические явления представляют собой часть более широкого класса электродинамических явлений, а Фарадей и Максвелл разработали понятие электромагнитного поля, уже не нуждающегося в материальном носителе, эфир избавился от своей физической природы, и нам осталось абсолютное пространство — структурный элемент, более не подверженный, в отличие от светоносного эфира, материальным воздействиям. Эту вторую стадию предвосхитила натурфилософия Ньютона. В самом начале «Principia»¹ он со всей ясностью провозглашает абсолютное пространство и абсолютное время как сущности, априори лежащие в основе всех законов природы. Если вы спросите, как Ньютон, отверженный эмпирической программой выведения действительного устройства пространственных страт и временных слоёв мира из их воздействия на наблюдаемые события, мог принять эту догму, то ответ, на мой взгляд, кроется в его теологии, теологии Генри Мора. Пространство для Ньютона — это *sensorium Dei*², вездесущность Бога во всех предметах. Следовательно, структура пространства находится в таком же отношении к предметам, в каком абсолютный Бог, как естественно полагать, находится по отношению к миру: мир подвержен воздействию Бога, но сам Бог находится вне сферы воздействия мира. Безусловно, это придаёт мировоззрению Ньютона несколько жёсткий и схоластический характер. К примеру, в своём учении о центре мира и о положении Солнца среди неподвижных звёзд он гораздо ближе к Аристотелю и дальше от современности, чем Джордано Бруно, живший более чем на век раньше. Однако следует признать, что переход от эфира стойков как обожествлён-

¹«Philosophiae Naturalis Principia Mathematica» («Математические начала натуральной философии»). — Прим. перев.

²«Чувствилице Бога» (лат.).

ного могущества природы, вовлекаемого в игру естественных сил, к геометрически жёсткому абсолютному пространству стал важным шагом вперёд, полностью согласующимся с переходом от мифологической религии природы к трансцендентному Богу христианства.

На третьей стадии становится ясно, что понятие абсолютно-го пространства некорректно описывает структуру пространства-времени; что не состояние покоя, но состояние равномерного перемещения есть внутренне выделенный класс движений. Осознание этого факта окончательно покончило с материальным эфиром. Сам Ньютон смог перейти от равномерного перемещения к состоянию покоя лишь с помощью замысловатого схоластического трюка, который весьма странно смотрится в «Началах», с их в остальном столь строгим изложением. Наконец, на четвёртой стадии, благодаря общей теории относительности, эта структура мира, как в инерциальном, так и в причинном своём аспекте, получает возможность вновь стать физической сущностью, подверженной воздействию материальных сил. Итак, в некотором смысле круг замкнулся, хотя величины, характеризующие состояние эфира, теперь совершенно иные, чем в начале, когда он появился на сцене как материальная среда. Ибо в этом и заключается фундаментальная физическая идея, лежащая в основе общей теории относительности Эйнштейна: то, что производит столь мощные и подлинные эффекты, как эта структура, не может быть жёстким геометрическим устройством мира, фиксированным раз и навсегда; это нечто реальное, что не только воздействует на материю, но и само реагирует на воздействия с её стороны. Более того, как осознал Эйнштейн, в дуализме между направляющей ролью инерции и отклоняющими силами гравитация выступает на стороне инерции; в явлении гравитации проявляется предполагаемая изменчивость инерциального поля и его зависимость от материи. С точки зрения философии Ньютона, тем самым теория относительности лишает пространство его божественной природы. Теперь мы проводим различие между аморфным континуумом и его структурой: первый сохраняет свой априорный характер, оказывается соответствующим чистому сознанию; структурное же поле полностью выброшено в реальный мир с его игрой сил. И этому полю как физической сущности Эйнштейн, не без веских исторических оснований, дал старое доброе имя эфира.

Причина, по которой оказалось так трудно разглядеть зависимость эфира от материи, кроется в гигантском превосходстве эфира в его взаимодействии с материей; но теория Эйнштейна и не

отрицает его верховной мощи. Если это и не божество, то уж точно сверхчеловеческий исполин. Его превосходство оценивается пропорцией $10^{20} : 1$, смысл которой можно описать в точных математических терминах на основе законов природы.

Если бы эфир не подвергался возмущающему воздействию материи, он оставался бы в состоянии покоя, или, говоря математическим языком и более точно, в состоянии однородности. В противовес «духу беспокойства», обитающему в материи — «в груди земли и у смертных», по словам Гёльдерлина, — эфир олицетворяет собой возвышенный, почти неколебимый покой Вселенной. Не отличаясь принципиально по своей сущности от материи и материальных сил, эфир не имеет божественной природы. И всё же мы видим в нём могущество, которое нам, человеческим существам, способным воздействовать на мир лишь посредством материальных агентов, представляется странным, непреодолимым, утешительным и вызывающим закономерное чувство глубокого почтения. Именно в этом духе выдержаны мощные космические песни, которые ещё в начале XIX века посвятил «Отцу Эфиру» великий немецкий поэт-романтик Гёльдерлин. И для сегодняшней натурфилософии глубокой загадкой — на мой взгляд, глубочайшей тайной из всех, с которыми ей доводилось иметь дело, — остаётся вопрос, как следует понимать это огромное превосходство эфира в его взаимодействии с материей. Своим изложением я хотел прежде всего продемонстрировать, как в этой точке древнейшие религиозные и метафизические идеи тесно переплетаются с важнейшими проблемами современной науки.

Но сколь бы возвышенный характер ни имели те природные силы, которые современная физика называет гравитационным и инерциальным эфиром, нам — не язычникам, но христианам — эфир не являет лик божественной первопричины. Поэтому теперь я опишу направление мысли, развивавшееся как второй фундаментальный ответ на вопрос о персте Божьем в природе: мир — это не хаос, но космос, гармонично упорядоченный в соответствии с незыблемыми математическими законами. Эта идея почти не имеет истории. Мы внезапно находим её уже в готовом виде у пифагорейцев, откуда она переходит в философию Платона. Исторически я бы возвёл её к двум весьма далёким друг от друга источникам. Первый — это древняя мистика и магия чисел, доставшаяся человечеству в наследство от доисторических времён, с которой всё ещё кажется тесно связанной идея общей подчинённости природы законам в филосо-

фии основателя школы — Пифагора. Первичным законом полагается закон музыкальной гармонии, согласно которому гармонические тона возникают при делении струны в целочисленных отношениях. Следуя этому примеру, люди пытались свести к целочисленным отношениям и очевидную регулярность в поведении звёзд, особенно в том, что касается планетарных орбит и периодов их обращения, назвав соответствующее учение гармонией сфер. Кеплер рьяно погрузился в изучение гармонии сфер и в конце концов вывел свои три знаменитые закона движения планет, которые ознаменовали переход к более глубокому пониманию математической гармонии в законах природы. Второй источник — антропоморфное основание идеи подчинённости космоса законам — кроется в идее судьбы. Деятельному «я» в его борьбе за существование противостоит не только «ты», собрат-человек или собрат-животное, но и форма бытия, принципиально отличная от его собственной и подавляющая его своим величием: земля и океан, огонь, буря и звёзды. Поначалу все их проявления считались сознательными актами, проявлениями активного бытия, что отражено и в языке; например, мы говорим «Солнце светит». Как только этот примитивный анимизм был преодолен, как только люди осознали принципиальное различие между внешними событиями и действиями «я», порождёнными туманной смесью интуитивных представлений и побуждений, оно воплотилось в идее судьбы, *мойры*, Ананке («Ананке, вынужденная необходимость», — читаем мы в эпосе Шпиттелера «Олимпийская весна»), с атрибутом непреклонной, слепой необходимости, самодостаточной и не связанной ни с каким смыслом. Но тёмные силы судьбы и тёмную магию чисел в греческой философии превозмогает блистательная, светлая идея подчинения мира математическим законам. Тем самым, не направляясь, в отличие от действий «я», никаким смыслом, внешний мир всё же наполнен светом духа, разума. Мы знаем, каким чудесным образом и до какой степени это представление о структуре внешнего мира выдержало проверку опытом — сначала в отношении движения звёзд, а затем и в отношении запутанных земных процессов; ибо после Кеплера и Галилея подлинный анализ природы свёл происходящее с миром к изменению в пространстве-времени измеримых характеристик его состояния. Этим учёным удалось осуществить прорыв, самый трудный для человеческого разума, — подчинить спекулятивное воображение и априорные математические конструкции действительности и опыту с помощью систематических экспериментальных проверок.

В законах природы, как мы впоследствии установим более точно, существенна простота. «Природа любит простоту и единство», — читаем мы у Кеплера. Родственная категория совершенства играла важную роль в философии Аристотеля, не только как методологический, но и как объясняющий принцип. Так, согласно Аристотелю, провозглашаемые им неразрушаемость и неизменность небесных тел суть следствия их совершенной формы. В полемике, которую Галилей направляет против этой концепции в своём диалоге о двух важнейших системах мира, очень остро чувствуется радикальная перемена в интерпретации природы, благодаря Галилею и произошедшая. Он признаёт идею совершенства, но более не ищет его в неизменных формах и отдельных предметах. Напротив, Галилей возносит хвалу изменчивости: растение, развивающееся в цветок, есть нечто несравнимо более прекрасное, чем кристаллическое совершенство тел в мире Аристотеля, отгороженном от всяких перемен. Галилей ищет совершенство в динамических связях и их подчинённости законам и находит, что совершенство — отныне не объективный базовый элемент физических свойств, но скорее эвристический принцип и символ веры, способствующий научным исследованиям. В эволюции идей Кеплера также наблюдается эта перемена. Вначале он всё ещё держится статических принципов, пытается обнаружить гармонию планетарной системы в схеме правильных геометрических тел. Лишь постепенно и с большим трудом пробивается он к более динамической концепции мира. «Кеплер, Галилей, Бруно, — говорит Дильтей, — разделяют с древними пифагорейцами веру в космос, упорядоченный согласно высшим и наиболее совершенным рациональным математическим законам, и в божественный разум как источник рационального начала в природе, с которым в то же время связан и разум человеческий». На долгом пути опыта, который прошла физика в следующие столетия, эта вера всегда находила всё новые удивительные частичные подтверждения — чем дальше, тем больше. Самое красивое из них — это, вероятно, максвелловская теория электромагнитного поля. Ни одна общая концепция, объясняющая сущность внешнего мира, не может сравниться с ней по глубине и основательности; хотя следует признать, что природа вновь и вновь брала верх над человеческим разумом, заставляя его отбрасывать предварительные выводы, подчас даже из универсальных законов, ради достижения более глубокой гармонии.

Для человека естественно было искать причину подчинённости мира законам в царстве душ, наделённых разумом. Вспомните слова Платона, процитированные в начале этой лекции. Кеплер не мог объяснить повиновение планет его второму закону, ставящему скорость планеты в функциональную зависимость от её расстояния до Солнца, иначе как наличием планетарной души, воспринимающей образ Солнца в его постоянном изменении. Ещё упорнее, чем подобная «психическая» интерпретация, пытались утвердиться и закрепиться в физике механическая и механистическая интерпретация законов природы. Вспомним механизм колёс Птолемея, вспомним также многочисленные попытки объяснить гравитацию и все физические явления столкновениями твёрдых частиц. Но физика была вынуждена всё дальше и дальше отходить как от механистических, так и от психических интерпретаций; в атомистической физике это, по-видимому, произошло лишь на самых последних этапах развития квантовой механики. В своей недавней речи у памятника Кеплеру, в его родном городе Вайль-дер-Штадте, Эддингтон говорил о том, что в кеплеровской картине мира музыка сфер не тонет в грохоте машин и что в этом кроется глубокая связь между его астрономическим мышлением и развитием современной физики. Гармония Вселенной имеет не механическую и не психическую природу, а математическую и божественную.

Пифагорейцы, а вслед за ними и Платон, понимали математическую регулярность космоса исключительно как порядок, связывающий природу или божественное начало лишь в том смысле, в котором, например, законы формальной логики связывают разум как орган, отвечающий за истину. Но впоследствии стоики и христианство, делая всё больший упор на ценность отдельной души, вновь соединили идею космоса с идеей судьбы, в регулярности природы подчёркивая не столько порядок, сколько необходимость и непреклонность, безжалостно управляющие ходом всех событий, в том числе действиями человека. У Гоббса это привело к современному позитивистскому детерминизму, о котором мне придётся говорить более подробно во второй лекции, посвящённой причинности.

А эту лекцию я заключу одним эпистемологическим соображением.

Исходная точка любой философской мысли — осознание того, что субъективно воспринимаемый мир есть всего лишь образ, видение, явление нашего сознания. Сознание постигает трансцендентный реальный мир не напрямую, и он не таков, как кажется.

Противоречие между субъектом и объектом, несомненно, отражается в актах нашего сознания, например в чувственном восприятии. Но с чисто эпистемологической точки зрения невозможно что-либо возразить против феноменализма, приверженцы которого желали бы ограничить науку описанием того, что «непосредственно доступно сознанию». Утверждение о том, что существуют «я», «ты» и мир, относится к метафизике, это не суждение, но акт признания и веры. Однако эта вера, в конечном счёте, есть душа всякого знания. Ошибка идеализма состояла в предположении, что явления сознания гарантируют реальность «я» принципиально иным и в некотором роде более надёжным образом, чем реальность внешнего мира; при переходе от сознания к действительности «я», «ты» и мир возникают в нерасторжимом единстве и, так сказать, одним махом.

Но односторонняя метафизическая позиция реализма столь же ошибочна. В ней проблемой остаётся «я». Лейбниц полагал, что ему удалось разрешить противоречие между человеческой свободой и божественным предопределением, позволив Богу (имея на то веские причины) наделять существованием одну из бесконечно многих возможностей, например Иуду и Петра, дальнейшая судьба которых полностью определяется их материальной природой. Это решение, быть может, и удовлетворительно с объективной точки зрения, но разбивается об отчаянный крик Иуды: «Почему я должен быть Иудой?!» Невозможность сформулировать этот вопрос в объективных терминах очевидна; следовательно, невозможен и ответ на него в форме объективного знания. Ответом может стать лишь спасение души. Знание не в состоянии привести лучезарное «я» (высший, а на самом деле единственный суд всякого познания, истины и ответственности), отчаянно умоляющее здесь об ответе, в согласие с тёмным, заблудшим человеческим существом, предоставленным своей личной судьбе. Более того, постулирование внешнего мира отнюдь не гарантирует, что он выстроится из наблюдаемых явлений в соответствии с когнитивной работой разума, устанавливающего закономерности. Чтобы это было так, необходимо, чтобы мир подчинялся простым элементарным законам. Таким образом, простое постулирование внешнего мира на самом деле не объясняет то, что оно призвано объяснять, а именно тот факт, что я, как воспринимающее и действующее существо, обнаруживаю себя в этом мире; вопрос о его реальности неразрывно связан с вопросом о причине его математической гармонии. Но сию первопричину управляющего миром рацио можно обнаружить только в Боге; это

одна из граней Всевышнего. Таким образом, окончательный ответ находится вне всякого знания, но только в Боге. Вытекающее из него сознание, не ведая своего начала, замыкается на себе в попытках аналитического самопроникновения, зависая между субъектом и объектом, между смыслом и бытием. Реальный мир не есть нечто, имеющее свои собственные основания, его нельзя содержательным образом наделить независимым существованием. Как многократно убеждались метафизика и теология, постижение мира таким, как он идёт от Бога, не может быть достигнуто с помощью знания, принимающего форму отдельных суждений, имеющих независимый смысл и утверждающих конкретные факты. Его можно достичь лишь посредством символической конструкции. Что это значит, я поясню в следующих двух лекциях.

Многие полагают, что современное естествознание весьма далеко от Бога. Я же, напротив, считаю, что образованному человеку сегодня гораздо труднее подойти к Богу со стороны истории, духовной сферы и морали; ибо в мире мы наблюдаем страдание и зло, которые трудно привести в согласие со всемилостивым и всемогущим Богом. Здесь нам, очевидно, ещё не удалось приподнять ту завесу, за которой наша человеческая природа скрывает суть вещей. Но в познании физической природы мы проникли столь глубоко, что можем узреть безупречную гармонию, сообразную с высшим разумом. Здесь нет ни страдания, ни зла, ни лишений — одно лишь совершенство. И ничто не мешает нам как учёным участвовать в этом космическом поклонении, нашедшем столь мощное выражение в самом блистательном немецком стихотворении — песне архангелов в начале «Фауста» Гёте:

В пространстве, хором сфер объятom,
 Свой голос солнце подаёт,
 Свершая с громовым раскатом
 Предписанный круговорот.
 Дивятся ангелы господни,
 Окинув взором весь предел.
 Как в первый день, так и сегодня
 Безмерна слава божьих дел.¹

Die Sonne tönt nach alter Weise
 In Brudersphären Wettgesang,

¹Пер. Б. Л. Пастернака.

Und ihre vorgeschriebne Reise
Vollendet sie mit Donnergang.
Ihr Anblick gibt den Engeln Stärke,
Wenn keiner sie ergründen mag;
Die unbegreiflich hohen Werke
Sind herrlich wie am ersten Tag.

II. Причинность

Среди множества идей, скорее намеченных, нежели развитых в первой лекции, мы хотим остановиться чуть более подробно на идее причинности. Этот вопрос жизненно важен для современного естествознания, ибо квантовая теория привела к кризису концепции детерминированности, которая господствовала в науке несколько последних столетий.

Идея причинности, на мой взгляд, объединяет две относительно независимые компоненты. Пока я обозначу их весьма общим образом: *математическая концепция обусловленности законом* и *метафизическое понятие «причины чего-либо»*, т. е. *Bestimmungsgrund*¹. Лейбниц где-то говорит: «Точно так же, как внутреннее понимание слова „я“ отмыкает для меня понятие материи, именно наблюдение себя самого даёт мне доступ к другим метафизическим понятиям, таким как „причина“, „следствие“ и т. п.». Базовая интуиция, позволяющая нам приблизиться к сути причинности, такова: я делаю это. Здесь речь вообще не идёт о какой-либо регулярности — каком-либо законе, — наблюдаемом вновь и вновь.

Особенно наглядно ключевой момент проблемы свободы воли обнаруживает Декарт, демонстрируя свободу, заключённую в теоретических актах утверждения и отрицания. Когда я утверждаю, что $2 + 2 = 4$, это фактическое суждение не навязано мне слепой естественной причинностью (приняв подобную точку зрения, пришлось бы исключить мышление из числа поступков, за которые человек несёт ответственность). В игру вступает нечто чисто духовное: тот факт, что $2 + 2$ действительно равно 4, имеет решающую власть над моим суждением. Речь здесь не о том, что определяющие факторы, (частично) отвечающие за мои действия, находятся не вне, а внутри меня как реального живого существа; и не о том, что можно принимать совершенно беспочвенные, безрассудные решения. Но

¹Определяющее основание (нем.).

следует признать, что сфера Бытия не замкнута по отношению к её определяющим факторам, но открыта разуму «я», в котором смысл и бытие сливаются в нерасторжимом единстве. Заявив, что тот факт, что $2 + 2 = 4$, имеет власть над моим фактическим суждением, я не имел в виду, что духовный мир фактов или платоновских идей обладает независимым существованием над реальностью, но хотел лишь подчеркнуть, что мы имеем дело не с новой сферой существования, а только со смыслом — смыслом, который находит своё воплощение в реальности.

Метод научного исследования, впервые введённый Галилеем, имеет две компоненты, одинаково важные и отчасти связанные с этим сопоставлением смысла и бытия: это априорная часть, свободное математическое построение поля возможностей, и апостериорная эмпирическая часть, подчинение реальности опыту и эксперименту. История Возрождения со всей наглядностью демонстрирует, что позитивистски настроенный эмпиризм не находит в себе достаточной мощи, чтобы пробиться к открытию естественного закона, но всегда скатывается обратно к теософии, мистицизму и магии. Подход Леонардо и Галилея, искавших причины реальности в опыте, резко отличается от сенсуалистических доктрин; если первый ясно и недвусмысленно ведёт в направлении математического идеализма, последние всегда отбрасывают назад к примитивным формам анимизма; примерами служат Кампанелла, а также Кардано и даже Бэкон. С другой стороны, великие открытия Коперника, Кеплера и Галилея, а также сопровождающие их теории, которые проповедают построение природы из априори данных логически-математических элементов, установили высшую реализацию независимости человеческого разума и его власть над материей. Поэтому в философии Декарта, которая представляет собой наиболее универсальное выражение взглядов той эпохи, новую механистическую интерпретацию нужно было примирить с идеализмом свободы; ибо эта самодостоверность причины, которая столь часто и столь естественно связывается с конструктивной мощью математического ума, привела к обострённому осознанию собственного достоинства и личной свободы. Но для рационального мышления двойственность между естественной предопределённостью и личной свободой заключала в себе серьёзную антиномию, ибо конкретная личность индивидуума погружена в природу.

Как известно, первая современная теория детерминизма была разработана Гоббсом. Одной из её самых чётких формулировок

мы обязаны Лапласу. Прочитирую его знаменитые слова из «Essai philosophique sur les probabilités»¹:

Разум, который для какого-нибудь данного момента знал бы все силы, действующие в природе, и относительное расположение её составных частей, если бы он, кроме того, был достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, обнял бы в единой формуле движения самых огромных тел во Вселенной и самого легкого атома; для него не было бы ничего неясного, и будущее, как и прошлое, было бы у него перед глазами. Человеческий ум, в том совершенстве, которого он достиг в астрономии, являет собой слабое подобие такого разума в ограниченной области.²

Если верно, что я живущий индивидуум, совершающий реальные умственные акты, и одновременно самопроникающий свет, разум, открытый смыслу и причине, или же, как выразился Фихте, «сила, которой придан глаз»; и если убеждённость Декарта в существовании свободы не обманчива, то есть сфера бытия не замкнута по отношению к своим определяющим факторам, но открыта разуму «я», то эта открытость должна проявляться также и в природе и науке о ней. Поскольку в естествознании, которое со времён Галилея развивалось с притязанием на полный охват всей природы, это было не так, для современного разума оно стало силой, пошатнувшей наивную веру в независимость «я». Все факты говорят о том, что живые существа не нарушают строгие законы природы; я, например, могу придать импульс своему телу, лишь оттолкнувшись от других предметов, которые тем самым получают противоположный импульс. Из-за многовековой приверженности естествознания строго детерминистической позиции его слишком легко обвинить в отъявленном материализме. Но каждый, кто осознаёт всю широту применимости и точность математических законов природы, которые мы видим прежде всего в физике и астрономии, должен признать, что данная позиция была единственно плодотворной; чтобы найти пределы этой обусловленности законами, следует пройти сей путь до конца, а не поддаваться из лени или сентиментальности уклончивым компромиссам. Сегодня мы твёрдо верим, что в квантовой механике эти пределы достигнуты.

¹«Опыт философии теории вероятностей» (фр.).

²Цит. по изд.: Лаплас П.-С. Изложение системы мира. Л.: Наука, 1982. Пер. В. М. Васильева.

После этих предварительных замечаний я перехожу к проблеме обусловленности природы математически сформулированными законами. Начну с некоторых эпистемологических соображений относительно смысла закона причинности. Сколь бы решающими эти соображения ни были для методологии естественных наук, полагаю, они мало чем способствуют облегчению того гнёта, который испытывает «я» в силу обусловленности через мир вещей. Однако во второй части мы обратимся к этой проблеме, чтобы на основе конкретных физических знаний, ставших доступными в последние десятилетия, определить провозглашаемый ими характер обусловленности и её пределы.

Все великие учёные учат преобразованию метафизической проблемы причины в научный вопрос о законе. Первым важным примером стало открытие закона падающих тел; сам Галилей в «Discorsi»¹ говорит о нём: «Мне не кажется полезным сейчас исследовать, какова причина ускорения». Важнее изучить закон, согласно которому оно изменяется. Ньютон, в свою очередь, говорит:

Причину этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю (*hypotheses non fingo*). <...> Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и моря² (конец «Principia»).

Динамика, согласно учениям Даламбера и Лагранжа, не нуждается в законах, относящихся к причинам физических явлений и сути таковых причин; она замкнута в себе как отражение регулярности явлений.

Разумеется, утверждение, что ход событий предопределён естественными законами, не исчерпывает содержания того, что мы несколько туманно понимаем под связью причины и следствия. В частности, математический закон не делает различия между определяющим и определяемым. Если несколько величин a , b , c связаны функциональным соотношением, например $a + b = c$, то значения величин a и b определяют значение величины c ; но тот же закон можно понимать как задающий величину b через величины a и c . Если естественные законы позволяют нам предсказывать буду-

¹«Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze» — «Беседы и математические доказательства двух новых наук» (*um.*).

²Цит. по изд.: Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. Пер. А. Н. Крылова.

щее, с тем же успехом они дают нам возможность восстанавливать прошлое, исходя из настоящего. Общий закон преломления света в оптически неоднородной среде, например в атмосфере, можно, следуя Снеллиусу, сформулировать как дифференциальный закон, связывающий бесконечно малое изменение направления луча света с изменением скорости распространения вдоль луча. Однако вместо этого можно, следуя Ферма, описать тот же процесс, ссылаясь на принцип, гласящий, что луч, двигаясь от одной точки к другой, выбирает путь, требующий наименьшего времени. Дифференциальная формулировка соответствует причинной концепции, согласно которой состояние в данный момент определяет изменение состояния в течение бесконечно малого промежутка времени; вторая, интегральная формулировка отдаёт телеологией. Однако оба закона математически эквивалентны. Таким образом, естественный закон безразличен к причинности и целесообразности; разница между ними — предмет не научного знания, а его метафизической интерпретации через идею определяющей причины. Полагаю, это следует заявить со всей отчётливостью: закон природы столь же мало свидетельствует за или против метафизически-телеологической интерпретации мира, сколь и метафизически-каузальной.

Первый эпистемологический анализ закона причинности с целью выделения той её части, которая важна для реального изучения природы, был предпринят Юмом. Он обнаружил следующие предварительные свойства. (1) Принцип близкодействия, согласно которому причинно связанные объекты или процессы должны быть напрямую соединены в пространстве-времени; ответ на вопрос «Почему?» требует введения сплошной неразрывной причинной цепи. (2) Переход причина → следствие происходит во времени: прошлое → будущее. (3) Обычно постулируемая необходимость существования причинной связи, унаследованная от идеи судьбы, не поддаётся, согласно Юму, чёткой эмпирической интерпретации. Поэтому он заменяет необходимость повторяемостью и неизменностью: каждый раз при возникновении одних и тех же условий одна и та же причина будет вызывать одни и те же следствия. Но и это ничего не даёт, ибо во всей полноте конкретности каждое событие происходит лишь однажды. Таким образом, необходимо добавить требования непрерывности, постулировав, что причины, достаточно мало отличающиеся друг от друга, вызывают следствия, также не сильно отличающиеся; что достаточно удалённые тела или события оказывают пренебрежимо малый

эффект, и т. д. Явления должны быть соотнесены с категориями понятий; их следует объединить в классы, задаваемые типичными характеристиками. Так, причинное суждение «Когда я подношу руку к огню, я обжигаясь» относится к типичному действию, которое описывается словами «подносить руку к огню», а не к частному акту, в котором движения руки и пламени определены до мельчайших деталей. Следовательно, причинное отношение существует не между событиями, а между типами событий. Прежде всего, — и, по-видимому, Юм недостаточно подчёркивал этот момент — *следует выделить универсальные отношения, разложив единый существующий мир на простые, постоянно повторяющиеся элементы.* Формула «dissecare naturam [рассекать природу]» была выдвинута ещё Бэконом.

Я не собираюсь вдаваться в подробности анализа природы, но хотел бы привлечь внимание лишь к двум или трём пунктам. (1) Мы смело вводим гипотетические разложения объектов, субъективно воспринимаемых как неразложимые простые элементы: например, разлагая белый солнечный свет в цвета спектра или раскладывая ускорение Земли на частичные ускорения, сообщаемые ей Солнцем и планетами по отдельности. (2) В научном исследовании учёные не ограничиваются рассмотрением воспринимаемых свойств тела, напрямую доступных органам чувств, но вводят «скрытые характеристики», которые проявляются лишь во взаимодействиях тела с другими объектами. Так, например, инертная масса не является воспринимаемой характеристикой тела — её можно определить, лишь позволив телу взаимодействовать с другими телами и приложив к этим взаимодействиям закон сохранения импульса. Данный закон утверждает следующее: каждому телу можно приписать некий импульс, который представляет собой вектор, имеющий то же направление, что и скорость; положительный множитель m , на который следует умножить скорость, чтобы получить импульс, называется массой. При взаимодействии нескольких тел друг с другом сумма их импульсов до и после взаимодействия остаётся неизменной. Лишь благодаря этому закону понятие импульса, а вместе с ним и понятие массы, получает конкретное содержание; в отрыве от него эти понятия повисают в воздухе. Только этот конструктивный метод позволил естественным наукам выйти за узкие рамки чисто геометрических понятий, которыми пытался их ограничить Декарт. Да и геометрические понятия по существу имеют тот же конструктивный характер. (3) Для математизирующих наук (в противоположность

наукам дескриптивным) характерен переход от классификации доступных примеров, такой как линнеевская классификация реально встречающихся в природе растений, к идеальному, конструктивному порождению возможного. Вместо того чтобы классифицировать наблюдаемые цвета, физика вводит понятие волн эфира, которые отличаются лишь направлением и длиной волны. Однако и направление, и длина волны варьируются в заранее заданном диапазоне возможностей. Таким образом, четырёхмерная среда пространства-времени есть поле возможных совпадений событий. Важнейшее из подобных полей, доступных для свободного построения, есть континуум чисел. Разумеется, анализ следует довести до того, чтобы каждый элемент задавался, во всей полноте конкретности, специальными значениями конструктивных параметров, таких как направление и длина волны, диапазон изменения которых полностью контролируется, возникая из свободной конструкции. Тогда закон причинности утверждает, что между этими количественными компонентами существуют универсально верные, простые, точные функциональные соотношения.

Перейдём теперь от элементарного анализа к идее естественно-го закона. Является ли она настолько самоочевидной, что не требует никакого дальнейшего разъяснения? Полагаю, что нет. Прежде всего, я хотел бы подчеркнуть два момента.

Утверждение о том, что природа управляется строгими законами, лишено всякого содержания, если не добавить, что она управляется математически простыми законами. Это напоминает фундаментальный закон кратных отношений в химии: он теряет всякий смысл, если не уточнить, что в соединения вступают целые кратные относительных атомных весов с малыми коэффициентами. Тот факт, что без ограничения сложности понятие закона оказывается бессодержательным, отмечал ещё Лейбниц в своём «Метафизическом трактате». Таким образом, простота становится в естественных науках руководящим принципом. Если на графике точки, соответствующие множеству наблюдений, которые описывают зависимость величины y от величины x , лежат на одной прямой, мы ожидаем, в силу математической простоты прямой линии, что график отображает точный закон зависимости; это позволяет нам экстраполировать и делать предсказания. Нельзя не признать, что сей руководящий принцип простоты прекрасно выдержал проверку. Например, евклидова геометрия, как наука, занимающаяся метрическим поведением твёрдых тел, выросла из очень грубых экспери-

ментов как их простейшая интерпретация. Когда позднее стали доступны более точные геометрические и астрономические измерения, оказалось, что эта геометрия выполняется гораздо более точно, чем можно было предположить при её рождении. В физике подобные ситуации встречаются постоянно. Поразительно не то, что естественные законы существуют, но то, что чем глубже продвигается анализ, чем более мелкие подробности нам доступны, чем тоньше элементы, к которым сводятся явления, тем проще — а не сложнее, как можно было бы ожидать априори, — становятся фундаментальные соотношения и тем точнее они описывают реальность. Но это обстоятельство ослабляет метафизическую мощь детерминизма, поскольку ставит смысл естественного закона в зависимость от изменчивого различия между математически простыми и сложными функциями или классами функций.

В ту же сторону указывает эпистемологическое наблюдение, что принцип «одни и те же условия приводят к одним и тем же результатам» (вне зависимости от той или иной его интерпретации) невозможно проверить с помощью эксперимента. Как говорит Гельмгольц, индуктивное доказательство данного утверждения было бы очень ненадёжным, обеспечивая степень достоверности не выше, чем у закономерностей, применяемых в метеорологии. Скорее, это правило, которое мы принудительно вводим, планируя свои эксперименты. Данное обстоятельство хорошо иллюстрирует пример со спектральным анализом белого света при помощи призмы, на который мы уже ссылались. В очевидном противоречии с фундаментальным принципом, утверждающим, что при одинаковых условиях одинаковые причины будут вызывать одинаковые следствия, два цвета, которые органы чувств воспринимают как один и тот же белый цвет, проходя через одну и ту же призму, дают, вообще говоря, совершенно разные спектры. Чтобы спасти наш фундаментальный принцип, мы изобретаем «скрытое» многообразие белого света, которое удобнее всего описывать самим спектром вместе с распределением интенсивности; именно так мы приходим в физике к рассмотрению простого белого света как смеси цветов. (Заметим, что поначалу свою роль в этих рассуждениях играет устройство, используемое при изучении взаимодействия, — призма с её конкретными свойствами; лишь после того, как мы проварьировали форму, вещество и ориентацию призмы относительно лучей света, и тем самым отделили два воздействующих фактора друг от друга, мы получаем шкалу длин волн, не зависящую от призмы.)

Перед конструктивным естествознанием стоит общая проблема приписывания объектам конструктивных характеристик таким образом, чтобы их поведение в условиях, описываемых характеристиками подобного же рода, полностью определялось естественными законами и могло быть предсказано на их основании. Неявное определение этих характеристик привязано к этим законам. Тот факт, что общие принципы естественнонаучного знания мы не открываем, но принудительно вводим, особенно подчёркивается в конвенционализме А. Пуанкаре. Однако полагаю, что приведённые выше наброски рассуждений можно рассматривать и как интерпретацию кантовского учения о категориях.

Эти соображения наводят нас на мысль, что закон причинности как принцип естествознания не поддаётся формулировке в нескольких словах и не является самодостаточным точным законом. Его содержание может быть чётко обозначено лишь вкупе с полным феноменологическим описанием того, как реальность воссоздаётся из данных, непосредственно доступных сознанию. Едва ли мы можем и далее удовлетворяться наивной формулировкой Канта — «Всё, что происходит, предполагает предшествующее состояние, за которым оно неизбежно следует согласно правилу». В то же время кажется, что «судьба» — в том виде, как она выражена в естественных законах, — настолько ослаблена нашим анализом, что лишь по недоразумению может противопоставляться свободе воли.

Сколь бы это ни было верно в отношении общего закона причинности как методологического принципа естествознания, полагаю всё же, что данная эпистемологическая уловка, с такой готовностью принимаемая как раз более глубокими мыслителями, опровергается самой реально существующей физикой. До сих пор мы говорили лишь о методологии естественных наук и её руководящих принципах. Но из неё вырастает сама реально существующая физика, глубоко укоренённая в плодородной почве эксперимента. Быть может, не существует строгого логического пути, ведущего от фактов к нашим теориям; но физика в целом убедительна для каждого, кто всерьёз посвящает себя исследованию Вселенной. Теперь уже мы имеем дело не с общей идеей математически простого естественного закона, но сами конкретные законы природы встают перед нами во всей своей удивительно ясной математической гармонии. По мере того, как завершается построение теоретической структуры, прежнее разложение мира на отдельные системы, отдельные события и их элементы всё больше исчезает; мир опять

предстаёт единым целым, все части которого интерактивно связаны друг с другом. Эволюция явно движется к единому, всеохватному мировому закону. Известные нам естественные законы содержат ограничение на структуру мира, которое со всей метафизической серьёзностью устанавливает пределы даже утверждениям о независимости разума. Поэтому теперь мы обратимся к самим этим закономерностям, чтобы увидеть, как они возникают и где их пределы.

Первое соображение таково: физика никогда не поддерживала тот истинно последовательный детерминизм, который настаивает на безусловной необходимости всего происходящего. Даже исходя из самых крайних своих позиций, включая ньютонову физику центральных сил, а также современную теорию поля, физика всегда предполагала, что состояние мира в некоторый момент времени в сечении $t = \text{const}$ произвольно и не ограничено никакими законами. Даже в лапласовской вселенной существовало «открытое пространство», которое можно было выбрать случайным образом среди сечений $t = \text{const}$. Быть может, этого достаточно, чтобы примирить механическую необходимость с Божественным Предназначением. Декарт рассуждает так: поскольку ни природу, ни распределение материальных составляющих мира, ни их начальные скорости нельзя определить при помощи чистого рассуждения, Бог мог создать естественный порядок вещей бесчисленным количеством способов; Он выбрал тот из них, который соответствовал Его замыслу. Похожие замечания приводит Ньютон в заключении к своей «Оптике». Но мне кажется, что такая степень произвола недостаточна для наличия у человека свободы воли. Согласно этой точке зрения, моя собственная судьба от рождения до смерти всё ещё задавалась бы состоянием мира во временном сечении, не входящим в контакт с моим существованием, с мировой линией моей жизни, предшествуя ей или следуя за ней. Поэтому честно довести до конца предлагаемое Кантом решение данной дилеммы (смысл которого был настолько туманен даже для самого Канта, что он испытывал трудности с пониманием перемен в человеческом характере) можно, только если верить в то, что индивидуум существует из вечности в вечность, скажем в виде монады Лейбница или благодаря метемпсихозу, в который верят индийцы и Шопенгауэр. Так или иначе, важно то, что физика всегда оставляла лазейку в предопределённости Природы.

Антиномия между свободой и предопределённостью принимает особенно острую форму во взаимоотношениях между знанием

и бытием. Вновь предположим вместе с Лапласом, что состояние мира в данный момент времени, т. е. трёхмерное сечение $t = \text{const}$, посредством строгих математических законов определяет его траекторию во всём прошлом и будущем. Тогда можно предположить, что исходя из того, что мне известно (или может быть известно) здесь и сейчас в мировой точке O , я в состоянии вычислить будущее. Хотел бы подчеркнуть со всей определённой, что в теории относительности эта некогда существовавшая антиномия исчезает. В первой лекции я описал причинную структуру, согласно которой из каждой точки O четырёхмерного мира исходит своего рода коническая поверхность, разделяющая причинное прошлое и будущее. Причинность здесь — не чисто методологический принцип; благодаря упомянутой структуре она становится объективной составляющей мира. На рисунке проходящее через точку O сечение $t = \text{const}$ разделяет области прошлого и будущего, исходящие из этой точки. Но это сечение не плоское, оно представляет собой поверхность обратного светового конуса, отделяющего то, что известно в точке O , от того, что неизвестно. И математическим следствием классических законов физики является тот факт, что хотя задняя половина мира, отсекаемая поверхностью $t = \text{const}$, определяет всё остальное, для внутренности обратного светового конуса это не так. То есть все причинные предпосылки действия я могу узнать лишь после того, как оно совершено.

Однако если рассматривать нашу проблему лишь в том, что касается только реальности и не касается взаимоотношений между знанием и реальностью, и если в этом реальном мире существует свободная воля, то следует потребовать, чтобы содержание обращённого вперёд конуса с вершиной в точке O не полностью определялось остальным миром. Это противоречило бы классической физике. Но классическая физика, несколько десятилетий подвергавшаяся вторжению статистических теорий, теперь окончательно вытесняется квантовой теорией, и ситуация кардинально изменилась.

В трёх граммах водорода содержится около 10^{24} беспорядочно движущихся молекул водорода; разумеется, невозможно точно рассчитать их движение под влиянием сил, с которыми воздействуют на них стенки сосуда и другие молекулы. Средняя скорость молекул определяет температуру газа, а соударение молекул со стенками, или, точнее, сила, создаваемая этими соударениями на единице площади, определяет его давление. Величины, которые мы получаем в результате измерений, — это некие средние значения, и

их можно предсказать посредством вероятностных вычислений, не исследуя движение подробно. Рассмотрим, например, кубический сосуд, разделённый на множество мелких кубиков одинакового размера, и предположим, что вероятность того, что данная молекула находится в данном кубике, одинакова для всех кубиков, причём эти пространственные вероятности для различных молекул независимы в статистическом смысле. Тогда можно показать, что с огромной вероятностью плотность газа в каждом из кубиков отличается от средней плотности во всём сосуде менее чем на 0,01%. Говоря в макроскопических терминах, газ в состоянии равновесия равномерно плотен. Таким же образом кинетическая теория газов, впервые сформулированная Даниилом Бернулли, приводит к другим известным газовым законам.

Теория вероятностей сообщает нам не только среднее значение величины, но и то, насколько больших отклонений от этого среднего следует ожидать. Спонтанные вариации в плотности атмосферы, возникающие из-за случайного движения её молекул, являются причиной диффузии солнечных лучей в светлое время суток, благодаря которой безоблачное небо кажется не чёрным, а голубым. Пусть и очень малые по отдельности, все вместе они дают ощутимый эффект. На подобные явления, связанные со спонтанными колебаниями, прежде всего и опирается статистическая теория. Мощные открытия Максвелла и Больцмана ясно показали, что большинство физических понятий не являются точными в смысле классической физики — это статистически средние значения, содержащие некоторую степень неопределённости; и что большинство хорошо знакомых нам законов физики, в первую очередь все законы, относящиеся к термодинамике атомической материи, следует рассматривать не как строго выполняющиеся естественные законы, но как статистические закономерности.

Исходный эпистемологический взгляд на статистическую физику состоял в том, что теория вероятностей просто позволяет сократить путь к некоторым следствиям точных законов. Например, строго говоря, надо было бы доказывать средствами классических законов движения, что интервалы времени, в течение которых газ заметно отклоняется от термодинамического равновесия, в сумме пренебрежимо малы по сравнению со всем периодом наблюдения. И попытки таких доказательств действительно предпринимались, однако каждый раз в критический момент возникала необходимость ввести недоказанное предположение, так называемую эр-

годическую гипотезу. Если же мы держимся реальной практики физических исследований, следует признать, что по мере развития статистической теории и постоянного увеличения её плодотворности попытки обосновать её при помощи строгих функциональных законов постепенно сошли на нет. Историческая эволюция сказала своё слово, и она требует, чтобы статистические понятия были признаны столь же фундаментальными, что и понятие точного закона. Я полагаю, что подобная историческая эволюция представляет собой более весомый аргумент, нежели любое рассуждение, претендующее на Бог знает какую строгость.

В связи с этим следует отметить, что в мире точных законов время обратимо: от замены t на $-t$ ничего не меняется. С другой стороны, выделенное направление потока из прошлого в будущее есть, вероятно, наиболее яркая черта субъективного времени. Эта выделенность направления проникает в физику не через её функциональные законы, но через наши вероятностные суждения; исходя из состояния системы в данный момент времени, мы находим, согласно вычисленным вероятностям, её вероятное состояние в последующий момент, но не в предыдущий. Таким образом, вероятность выявляет некую часть идеи причинности, полностью исчезающую в точных законах.

Однако лишь самая последняя часть физики, квантовая механика, довела статистический характер физических закономерностей до предельных оснований. Этот шаг стал необходимым, чтобы объяснить двойственную природу физических сущностей, обнаруженную впервые в случае света. Свет — это пространственно непрерывный волнообразный процесс электромагнитной природы. Только такая концепция позволяет нам понять дифракцию и интерференцию. Однако, с другой стороны, ряд явлений, обнаруженных в последние десятилетия, заставляет нас считать, что свет состоит из отдельных квантов, испускаемых источником в определённых направлениях, энергетическое содержание которых задаётся частотой, или цветом света. Опишу одно из этих явлений. Если облучать металлическую пластину ультрафиолетовым светом, пластина будет испускать электроны. В предположении, что интенсивность света мала, волна, проходящая через атом, не обладает достаточной энергией, чтобы вырвать электрон из атомной системы. Даже если представить себе, что существует некий механизм, позволяющий аккумуляровать волновую энергию внутри атома, эффект выброса электронов мог бы начинаться лишь после длительного периода накоп-

ления энергии. Однако он начинается мгновенно. Сила, с которой электроны выбиваются из атома, совершенно не зависит от интенсивности света; но она зависит от его цвета. С ростом интенсивности увеличивается лишь число электронов, испущенных за единицу времени. Объяснить этот процесс можно только в предположении, что свет состоит из отдельных квантов. Энергетическое содержание такого светового кванта при столкновении с атомом передаётся электрону, что позволяет тому разорвать связь с атомным ядром и, более того, придаёт ему некоторую кинетическую энергию. Эта энергия зависит от энергетического содержания светового кванта, а значит, от цвета светового пучка. Двойственную природу света — который представляет собой волну, способную интерферировать, но в то же время и световой квант, внезапно налетающий на атом в том или ином месте, — мы пытаемся объяснить, предполагая, что интенсивность волнового поля в данной точке есть относительная вероятность того, что в этой точке находится квант света. Чем интенсивнее свет, тем плотнее скопление световых квантов на единицу времени. Волновое поле подчиняется строгому функциональному закону. Но ровно то же верно для составных частей материи, электронов. Повседневный опыт подсказывает нам, что они обладают корпускулярной природой. Но, как было показано недавно, электроны подвержены дифракции и интерференции. Следовательно, точные законы для них существуют, но они оперируют с волновыми полями, а значит, с величинами, которые для реальных событий имеют лишь смысл вероятностей. Эти законы определяют реальные процессы так же, как априорные вероятности определяют статистически средние значения, частоты, — всегда с некоторой степенью неопределённости.

Хорошо известно, как с помощью призмы или решётки можно выделить из естественного света монохроматический пучок. В луче монохроматического света все световые кванты имеют одну и ту же энергию и один и тот же импульс. Пропуская луч через призму Николя, мы навязываем ему определённое направление поляризации. Опишем этот процесс в терминах световых квантов. Каждый световой квант либо пройдёт через призму, либо нет; значит, ему можно приписать некоторую величину q_s , соответствующую положению s призмы и принимающую значения $+1$ или -1 в соответствии с тем, пройдёт квант через эту призму или нет. Монохроматическая поляризованная плоская световая волна обладает максимально достижимой однородностью. Однако мы видим, что при прохождении че-

рез вторую призму Николя, находящуюся в положении t , отличном от s , этот однородный пучок вновь расщепляется на переданный и отражённый луч. Относительные интенсивности этих лучей полностью определяются углом между положениями s и t . Это вероятности того, что для светового кванта с $q_s = 1$ величина q_t равна $+1$ или -1 . Луч света, прошедший через обе призмы, не более однороден, чем луч, прошедший только через первую призму: он имеет ровно ту же природу, как и в случае, если бы первой призмы не было. Следовательно, отбор, осуществляемый первой призмой, уничтожается второй призмой. Говорить о величине q_s для светового кванта правомерно, потому что существует метод, позволяющий определить её значение. Аналогичным образом мы можем говорить о величине q_t . Но бессмысленно спрашивать о значениях, принимаемых для одного и того же светового кванта величинами q_s , q_t одновременно, потому что, измерив q_t путём выделения световых квантов с $q_t = 1$, мы лишаемся возможности измерить q_s путём выделения световых квантов с $q_s = 1$.

Неосуществимость такого одновременного измерения не есть следствие ограниченности человеческих возможностей — её следует рассматривать как принципиальную. Поясним это обстоятельство ещё одним примером. Атом серебра обладает некоторым магнитным моментом, это крошечный магнит определённой силы и направления. Его можно изобразить стрелкой — вектором магнитного момента. Компонента m_z этого вектора в любом пространственном направлении z может принимать лишь два значения, ± 1 , если выражать её в специальной единице измерения — магнетоне. Пропуская пучок таких атомов через магнитное поле, неоднородное в направлении z , можно выделить из него два составляющих пучка, для которых m_z равно $+1$ и -1 , соответственно. То же, очевидно, верно для любого другого пространственного направления. Однако вектор, компоненты которого в любом пространственном направлении могут принимать лишь значения ± 1 , геометрически невозможен. Парадокс разрешается следующим образом: если компонента m_z зафиксирована с помощью процедуры разделения пучка, никакую другую компоненту определить уже нельзя. Можно вычислить лишь вероятности, с которыми такая компонента принимает значения ± 1 .

Классическая физика, пытаясь найти условия, которые бы гарантировали максимальную однородность, предполагала, что в подобном «чистом случае» любая физическая характеристика рассматри-

ваемой физической системы принимает корректно определённое значение, которое в одних и тех же условиях всегда будет одним и тем же. Квантовая механика также требует от экспериментатора выделения чистого случая, однородность которого повысить уже нельзя. Но идеал классической физики в ней недостижим. Следует спрашивать, не какое значение принимает физическая величина в данном чистом случае, но какова вероятность, что в этом чистом случае она будет иметь данное значение. Мы не можем больше считать, что электрон описывает определённую траекторию. Это верно, что положение электрона в данный момент времени можно измерить, и его скорость тоже можно измерить — но не обе величины одновременно. Измерив положение, мы лишаемся возможности точно измерить скорость. И речь не об ограниченных возможностях человека — трудность заключена в самой природе вещей. Смысл физической величины связан с методом её измерения. Атрибуты, с которыми имеет дело физика, проявляются лишь в экспериментах и взаимодействиях, в основе которых лежат постулированные законы природы. Ранее физики считали, что этими атрибутами обладают сами физические тела независимо от того, проведены ли в реальности измерения, необходимые, чтобы их найти. Такие атрибуты уместно было соединять логическим «и»; имело смысл постулировать детерминизм и удовлетворять этому методологическому постулату, вводя определённые подходящим образом скрытые атрибуты. Теперь же, в квантовой механике, эта эпистемологическая позиция конструктивной науки подверглась принципиальному ограничению.

Можно попытаться избежать этого вердикта, сказав, что волновое поле, подчиняющееся точным законам, и есть реальность. Однако дело в том, что волновое поле нельзя наблюдать напрямую, оно лишь задаёт все наблюдаемые величины таким же образом, как априорные вероятности задают статистические частоты. В этом отношении принцип неопределённости неизбежен. Можно утверждать, что существует каузально замкнутый мир, управляемый точными законами, но чтобы я, наблюдатель, мог войти в контакт с его действительным существованием, он должен мне открыться. Связь между этим абстрактным миром вовне и миром, который я непосредственно воспринимаю, неизбежно имеет статистическую природу. Сей факт, вместе с новым пониманием связи между субъектом и объектом, которое даёт современная физика, открывает несколько путей примирения личной свободы с естественным за-

коном. Однако было бы преждевременно предлагать конкретное и полное решение проблемы. Одно из принципиальных различий между учёным и нетерпеливым философом состоит в том, что учёный умеет ждать. Мы должны подождать дальнейшего развития науки — возможно, несколько веков, возможно, несколько тысячелетий, — прежде чем сможем создать достоверную и детальную картину переплетающихся структур Материи, Жизни и Души. Но старый классический детерминизм Гоббса и Лапласа не должен нас больше угнетать.

Стоит упомянуть ещё одно свойство квантовой механики. Состояние физической системы определено, если для каждой физической характеристики этой системы известна вероятность, с которой она принимает каждое из своих возможных значений. Следовательно, состояние системы, состоящей из двух электронов, определяет состояние обоих электронов, но обратное неверно. Зная состояния двух частей системы, мы ни в коей мере не фиксируем состояние всей системы в целом. Здесь мы наблюдаем недвусмысленное и чреватое далеко идущими последствиями подтверждение принципа, что целое больше суммы своих частей. Современный витализм, среди приверженцев которого следует прежде всего упомянуть Ханса Дриша, попытался свести независимость жизни, её принципиальное отличие от неорганических процессов к понятию Целого. Согласно витализму, живой организм реагирует как единое целое; его функции не аддитивны. Способ, которым структура сохраняется в процессе роста несмотря на все внешние воздействия и возмущения, не следует объяснять мелкомасштабными причинно-следственными взаимодействиями между элементарными частями организма. Теперь мы видим, что, согласно квантовой физике, этот принцип верен и для неорганической природы и не является характеристической чертой органических процессов. Не может быть и речи о том, чтобы вывести состояние целого из состояния его частей. Отсюда вытекают условия, которые проще всего, хотя и не вполне корректно интерпретировать как своего рода некаузальное «взаимопонимание» между элементарными частицами, которое первично по отношению к контролю, осуществляемому дифференциальными законами, что управляют вероятностями, и независимо от него. Одной из лучших иллюстраций этой идеи является принцип Паули, согласно которому два электрона никогда не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии. Поэтому кажется, что квантовая теория призвана перекинуть мост от неорганической

природы к органической; соединить их, вернув первопричину тех явлений, которые в полностью развитом организме явлены нам как Жизнь, Душа и Воля, обратно в тот изначальный порядок природы, которому подчиняются атомы и электроны. Так что сегодня менее чем когда-либо должны мы сомневаться в объективном единстве всей природы и менее чем когда-либо должны терять надежду на достижение единства метода во всех естественных науках.

III. Бесконечность

В первой лекции я обратил внимание на то, что различие между конечным и бесконечным греки превратили в плодотворный инструмент постижения реальности и что это одно из их величайших достижений. Для иллюстрации того, как ранние греческие мыслители формулировали понятие бесконечности таким образом, чтобы оно могло быть включено в науку, я начну с дошедшего до нас отрывка из Анаксагора: «В малом не существует наименьшего, но всегда имеется ещё меньшее. Ибо то, что существует, не может исчезнуть, как бы далеко ни было продолжено деление». Разумеется, это утверждение относится к пространству или к телу. Континуум, говорит Анаксагор, не может состоять из дискретных элементов, которые «как бы отрублены друг от друга топором». Пространство бесконечно не только в том смысле, что невозможно достичь его конца; но и в каждой своей точке оно бесконечно при движении внутрь, к меньшему. Задать точку можно лишь со всё возрастающей точностью в последовательных стадиях процесса деления, продолжаемого до бесконечности. Эта ситуация резко отличается от состояния неподвижного и осуществлённого бытия, в котором пространство явлено прямому восприятию. Для заполняющих его *квалиа* [качеств] пространство — это принцип различия, изначально создающий возможность разнообразия качественного характера; однако пространство есть одновременно различие и соприкосновение, непрерывная связь, в силу которой никакая его часть не может быть «отрублена топором». Поэтому истинно пространственную вещь нельзя задать адекватно; она раскрывает свой «внутренний горизонт» в бесконечном процессе всё время новых и всё более точных экспериментов. Следовательно, нельзя постулировать реально существующий объект как замкнутую и полную в себе сущность. Так проблема континуума становится мотивом для эпистемологического идеализма: Лейбниц, среди прочих, под-

тверждает, что именно поиск выхода из «лабиринта континуума» исходно привёл его к представлению о пространстве и времени как о порядках явлений. «Из того, что тело невозможно математически разложить на простейшие элементы, — говорит он, — немедленно следует, что это не есть нечто, действительно существующее, но только идеальная конструкция, лишь указывающая на возможность частей, но никоим образом не что-либо действительно».

Анаксагору противостоит строго атомистическая теория Демокрита. Один из его аргументов против тезиса о бесконечной делимости тел гласит примерно следующее: «Говорят, что деление возможно, — хорошо, допустим, что оно произведено. Что же остаётся тогда? Тела не останутся, ибо их можно было бы продолжать делить далее, и это означало бы, что разложение не было доведено до конца. Остаться могут только точки, а в таком случае тело должно было бы состоять из точек, что, очевидно, нелепо». Невозможность постичь континуум как нечто, находящееся в состоянии застывшего бытия, лучше всего иллюстрирует знаменитый парадокс Зенона о состязании Ахиллеса с черепахой. Черепаха находится впереди Ахиллеса на расстоянии 1; если Ахиллес бежит в два раза быстрее черепахи, то в тот момент, когда он достигнет точки, из которой она начала движение, черепаха будет опережать его на расстояние $\frac{1}{2}$. Когда Ахиллес пробежит и это расстояние, черепаха совершит путь в $\frac{1}{4}$, и так далее до бесконечности; откуда следует заключить, что быстроногий Ахиллес никогда не догонит рептилию.

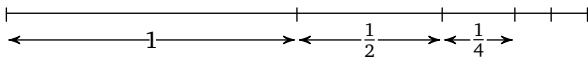


Рис. 4

Наблюдение, что последовательные частичные суммы ряда

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots$$

не растут неограниченно, но сходятся к 2, которым, как принято считать в наши дни, разрешается этот парадокс, без сомнения, важно, уместно и многое проясняет. Но если расстояние длины 2 действительно состоит из бесконечного числа частичных расстояний с длинами $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ как «отрубленных» составных частей, то утверждение о том, что Ахиллес в конце концов пробежал их все, противоречит самой сути бесконечности, «незавершаемого». Аристотель

в связи с решением парадокса Зенона отмечает, что «движущееся движется, не производя счета», или, точнее,

когда непрерывную линию делят пополам, то одну точку принимают за две, её делают и началом одной половины, и концом другой; однако, когда производят деление таким образом, то ни линия, ни движение не остаются непрерывными... В непрерывном хотя и заключается бесконечно много половин, но только в возможности, а не в действительности.

Лейбниц, ищущий основания явлений в мире абсолютных субстанций, вынужден принять вескую аргументацию Демокрита; он приходит к идее монады. Соглашаясь с Аристотелем, Лейбниц говорит:

В идеальном, в непрерывном, или в континууме, целое предшествует частям <...>, эти части существуют лишь потенциально; но в реальном простое предшествует совокупностям, и части существуют актуально, существуют прежде целого. Эти соображения устраняют трудности относительно континуума, связанные с предположением, будто континуум есть нечто реальное и обладает частями прежде всякого деления и будто материя является субстанцией.

Это подсказывает, что решением антиномии континуума может быть различие между актуальностью и потенциальностью, между бытием и возможностью. Приложение математических конструкций к реальности в конечном счёте опирается на двойственную природу этой реальности, на наличие у неё субъективного и объективного аспекта — на тот факт, что реальность есть не вещь в себе, а вещь, представляющая перед нашим мысленным «я». Если принять метафизическое учение Платона и согласиться с тем, что образ, являющийся нашему сознанию, есть совокупный результат «движения», исходящего частично от «я», а частично от объекта, то протяжённость, воспринимаемую нами форму пространства и времени как качественно однообразного поля свободных возможностей, следует отнести на сторону «я». Математика — не косный и скучный схематизм, как зачастую думает обыватель; напротив, она находится именно в той точке пересечения ограниченности и свободы, которая и составляет суть самого человека.

Если теперь попытаться сформулировать эти старые идеи немного точнее, сначала мы обнаружим бесконечность в более примитивной форме, нежели континуум, а именно в виде последовательности натуральных чисел 1, 2, 3, ...; только с их помощью мы сможем подступить к проблеме математического описания континуума.

В том, что касается роли бесконечного, в развитии арифметики можно выделить четыре стадии. Первая стадия характеризуется индивидуальными конкретными суждениями типа $2 < 3$: числовой символ // содержится в символе ///. На второй стадии появляется, например, идея $<$, понятие «содержится в» для произвольных числовых символов; а также утверждение гипотетической общности: для любых двух данных числовых символов a , b либо $a = b$, либо $a < b$, либо $b < a$. Таким образом, мы не выходим за пределы сферы актуально заданного, поскольку подразумевается, что утверждение верно, только если нам даны конкретные числа. Однако нечто совершенно новое происходит на третьей стадии, когда я вкладываю актуально заданные числовые символы в последовательность всех возможных чисел, которая строится порождающим процессом в соответствии с принципом, утверждающим, что, имея данное число n , всегда можно построить новое, следующее за ним число n' . Здесь существующее проектируется на возможное, точнее на открытое в бесконечность упорядоченное многообразие возможностей, которые могут быть порождены в соответствии с фиксированной процедурой. Методологически эта точка зрения находит выражение в определении и заключении методом полной индукции. Принцип полной индукции утверждает следующее: чтобы установить, что некоторое свойство P , относящееся к произвольному натуральному числу n , выполняется для любого такого числа, достаточно доказать, что (α) число 1 обладает свойством P ; (β) если n — произвольное число, обладающее свойством P , то следующее за ним число n' также обладает свойством P . Хорошо знакомый метод различения чётных и нечётных чисел путём «отсчитывания по два» есть простой пример определения методом полной индукции; его можно сформулировать так: (α) число 1 нечётно; (β) в зависимости от того, является ли число n чётным или нечётным, число n' является нечётным или чётным соответственно.

На этой стадии общие утверждения науки о числах подразумевают свободу прервать последовательность чисел в произвольном месте. Это завершает переход к собственно теоретическому познанию — переход от апостериорного описания актуально заданного к априорному построению возможного. Актуально заданное вкладывается в упорядоченное многообразие возможного не исходя из описательных характеристик, а на основе некоторых умственных или физических операций с ним, таких как, например, процесс счёта. Четвёртую стадию развития арифметики мы обсудим позже. На

этой стадии, согласно прототипу платоновского учения об идеях, возможное превращается в трансцендентное и абсолютное бытие, в своей полноте недоступное нашей естественной интуиции.

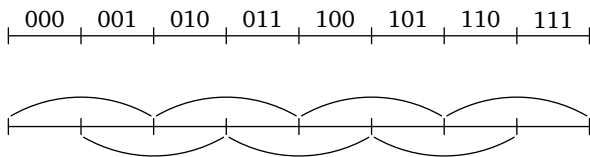


Рис. 5

Но сейчас мы воздержимся от этого опасного шага и перейдём от натуральных чисел к континууму, исследуя вопрос, как описать его при помощи возможных бесконечно продолжающихся делений. В качестве примера я возьму одномерный отрезок. Разделю его точкой на две части (первый шаг деления). На втором шаге каждая из этих частей вновь разделится точкой на две, и у нас будет уже четыре части. На третьем шаге каждая из них вновь разделится на две, и так далее до бесконечности. На каждом шаге деления число частей увеличивается в два раза; после n -го шага мы имеем всего 2^n частей. Это метод диарезы [деления], с помощью которого Платон пытался построить свои идеальные числа. В последовательности делений первого, второго, третьего, ..., n -го шага разворачивается бесконечная последовательность чисел. Я хотел бы потребовать, чтобы отрезки каждый раз делились ровно пополам. Однако до тех пор, пока я следую интуитивному пониманию континуума, я не имею право так делать; хотя по самой своей природе континуум поддаётся делению, границы этого деления нельзя задать точно — можно лишь увеличивать точность и тонкость деления, бесконечно его продолжая. Поэтому изначально мы можем установить границы лишь с некоторой неопределённостью, но следует считать, что на более поздних стадиях точки деления предыдущих стадий фиксируются всё более точно. Здесь мы имеем дело с процессом «становления», который в реально заданном континууме может быть доведён лишь до некоторой стадии. Но, рассматривая ход этого процесса на конкретном континууме, мы можем выделить его арифметическую схему, и она уже определена до бесконечности. Именно эта схема есть предмет изучения математической теории континуума. Чтобы описать арифметическую структуру деления, следует систематически охарактеризовать последовательно образующиеся части

с помощью символов и, используя эти символы, указать, как соединяются между собой части, полученные на n -м шаге деления, и как они образуются из частей, полученных на предыдущем шаге, в ходе n -го деления. Если левую половину отрезка всегда обозначать символом 0, а правую символом 1, мы получаем следующую схему деления:

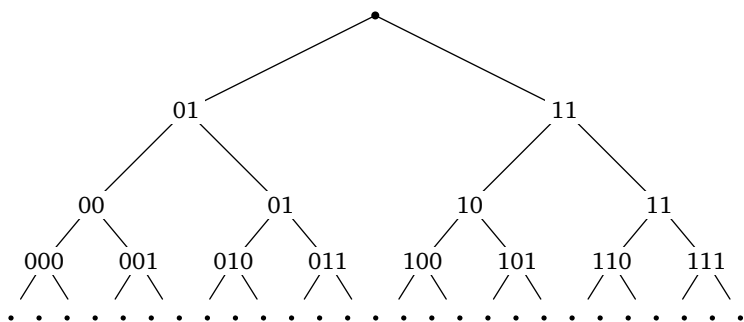


Рис. 6

Простую последовательность натуральных чисел также можно рассматривать как подобную схему деления: здесь целое разлагается на одну часть (обозначаемую 1), которая сохраняется в качестве единицы, и единый остаток; затем остаток вновь разлагается на одну часть (обозначаемую 2) и единый остаток; и так далее. Самая наглядная реализация этого процесса — время, с его открытостью в будущее и проживанием вновь и вновь его очередного фрагмента. В данном случае делению подвергается не каждая часть, но только последний остаток. Это более простая схема, чем в случае континуума, однако принципиально она относится к тому же типу.

Каждые две соседние части, полученные на n -м шаге, мы объединяем в двойной интервал n -го порядка (см. рис. 5). Эти интервалы перекрываются таким образом, что, зная точку с достаточной точностью, можно наверняка указать тот двойной интервал n -го порядка, в который она попадает. Таким образом, конкретная точка задаётся всё более точно, будучи заключена в бесконечной последовательности двойных интервалов, каждый из которых целиком лежит внутри предыдущего. Этот процесс в принципе эквивалентен тому, которому в древности учил Евдокс и который применяли для задания точек континуума и для различения их друг от друга. Вклад современности состоит в осознании того факта, что эту последова-

тельность интервалов следует рассматривать не только как средство для описания данной точки, существование которой гарантировано независимо, но что именно она исходно порождает точку в континууме конструктивным образом. Каждая такая последовательность доставляет точку, и в арифметической схеме все точки порождаются этой процедурой. Лишь на основе данного конструктивного взгляда возможно математическое освоение непрерывности, её анализ.

Но идея бесконечной последовательности всё ещё содержит проблему. Все важные свойства нашего анализа останутся в силе, но описание станет немного проще, если вместо схемы непрерывного деления пополам взять за основу последовательность натуральных чисел. Чтобы построить некоторую последовательность натуральных чисел, следует выбрать произвольным образом первое число, затем второе, третье и так далее — это «последовательность свободного выбора». Но утверждения относительно этой последовательности имеют смысл, только если их истинность можно установить на конечном шаге построения. К примеру, можно спросить, встречается ли число 1 среди элементов последовательности вплоть до 100-го, но нельзя спрашивать, встречается ли число 1 вообще, поскольку построение последовательности никогда не достигает завершения. Конкретную последовательность, заданную до бесконечности, невозможно получить таким образом с помощью конкретного выбора — необходим закон, позволяющий для произвольного натурального числа n вычислить в общем виде число, стоящее на n -м месте последовательности. Если придерживаться этой схемы, видно, что, в согласии с процитированным выше замечанием Аристотеля, непрерывный отрезок $0...1$ действительно нельзя разбить на две части $0... \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \dots, 1$ так, чтобы каждая точка x принадлежала либо одной, либо другой из двух половинок.

Теперь мы уже встречались с бесконечным в двух формах: (1) свободная возможность прервать последовательность чисел $1, 2, 3, \dots$ в произвольном месте (единственный акт выбора); (2) свободная возможность строить непрерывно разворачивающуюся и никогда не заканчивающуюся последовательность натуральных чисел (акт выбора, повторяемый до бесконечности), которая, однако, превращается в закон, если необходимо представить конкретную последовательность, заданную до бесконечности.

До того, как Пифагор или математики пифагорейской школы открыли иррациональность, до тех пор пока для измерения отрезков использовались только дроби, преобладало мнение, что каждая кон-

кретная точка континуума может быть задана с помощью одного или двух натуральных чисел — числителя и знаменателя дроби; тем самым бесконечность (2) сводилась к (1). Но это означало бы, что произвольная последовательность чисел \mathcal{L} задаёт по некоторому закону натуральное число $n_{\mathcal{L}}$, характеризующее саму последовательность единственным образом, подобно имени. Очевидно, так быть не может. Мы должны быть в состоянии определить имя $n_{\mathcal{L}}$, когда построение последовательности \mathcal{L} достигло некоторой стадии. Не обязательно, чтобы это была фиксированная стадия, которую можно указать заранее, например шаг номер 2 или 100 000; она может зависеть от совершаемых актов выбора. Однако в конце концов число $n_{\mathcal{L}}$ должно быть зафиксировано и не меняться при дальнейшем построении последовательности. Но тогда все последовательности, имеющие одно и то же начало вплоть до этого шага, дадут одно и то же значение $n_{\mathcal{L}}$ вне зависимости от того, как они будут отличаться друг от друга при дальнейшем развитии.

В своём изложении я до сих пор во многом следовал голландскому математику Брауэру, который в наши дни строго довёл до логического конца интуиционистскую точку зрения на математику. Эта точка зрения подчёркивает конфликт между бытием и возможностью. Испокон веков метафизика пыталась преодолеть дуализм между субъектом и объектом, бытием и возможностью, существованием и смыслом, ограниченностью и свободой. В конце первой лекции я выразил свою убеждённость в том, что как первопричина, так и примирение этого конфликта может заключаться только в Боге. Попытка реализма возвысить объект до звания абсолютной сущности была изначально обречена на провал, как и противоположная попытка идеализма снабдить той же высшей независимостью субъект. В математике — отчасти из-за её зависимости от философии — также проявилась склонность к абсолюту, очевидно, глубоко укоренённая в человеке. Описав в первой части лекции бесконечное в математике как категорию возможности, теперь я хочу обсудить попытки превратить открытое в бесконечность поле возможностей в замкнутую сферу абсолютного существования. В истории выделяются четыре различные попытки достичь этой цели. Две самые древние из них в действительности относятся только к континууму.

Первая и наиболее радикальная попытка состоит в том, чтобы объявить континуум состоящим из исчисляемых дискретных элементов — атомов. Этой процедуре ещё в древности следовал Демо-

крит, объясняя природу материи, и в современной физике её ждал оглушительный успех. Платон, ясно осознающий свою цель — спасти явление через идею, — по-видимому, первым разработал последовательный атомизм пространства. Атомистическая теория пространства была возрождена в исламской философии мутакаллимов, а на Западе — в учении Джордано Бруно о минимуме. Возвращённая к жизни квантовой теорией, в наше время эта идея вновь возникает в спорах об основаниях физики. Но до сих пор она всегда оставалась чисто спекулятивной и никогда не находила ни малейшего соприкосновения с реальностью.

Вторая попытка оперирует понятием бесконечно малого. Касательной к кривой в точке P считается прямая, соединяющая P с бесконечно близкой к ней точкой кривой, а не предельное положение, к которому бесконечно приближается секущая PQ , когда точка Q стремится к P вдоль кривой; скорость — это отношение бесконечно малого пути, пройденного за бесконечно малый промежуток времени dt , к dt , а не предел, к которому сходится соответствующее отношение, составленное для конечного промежутка времени, когда его длина неограниченно уменьшается. Изгибание прямой в правильный многоугольник с тысячей сторон Галилей сравнивает с наматыванием её на окружность; последнее, по его мнению, на самом деле равносильно изгибанию прямой в многоугольник с бесконечным числом бесконечно малых сторон, хотя стороны этого многоугольника невозможно отделить друг от друга. Сгущение и разжижение материи он интерпретирует как смешение пустых и заполненных бесконечно малых кусочков пространства в меняющихся пропорциях. Хотя Евдокс отверг идею бесконечно малого в строго сформулированной аксиоме, эта идея, туманная и непостижимая, в XVIII веке легла в основу исчисления бесконечно малых. Сами его основатели, Ньютон и Лейбниц, более или менее чётко высказывали правильную точку зрения, что это исчисление имеет дело не с фиксированной бесконечно малой величиной, а с переходом к предельному нулю; но она не стала руководящим принципом в последующем развитии их идей, и к тому же они, очевидно, игнорировали то обстоятельство, что предельный процесс должен не только определять значение предела, но и для начала гарантировать его существование. По этой причине возникшее в Новое время исчисление бесконечно малых на протяжении нескольких веков не могло сравниться в логической строгости с греческой теорией континуума. Однако, с другой стороны, оно позволило расширить

круг рассматриваемых проблем, ибо с самого начала занималось анализом произвольных непрерывных форм и процессов, особенно процессов движения. В нашей культурной традиции страстное стремление к реальности берёт верх над пронизательным греческим *ratio*.

В конце концов предельный процесс одержал победу, так что эта вторая попытка превратить становящийся континуум в застывшую сущность также провалилась. Ибо предел — понятие, которого невозможно избежать и важность которого не зависит от нашего принятия или непринятия идеи бесконечно малого. И как только оно появилось, стало ясно, что бесконечно малые больше не нужны. Анализ бесконечно малых имеет своей целью описать поведение конечного, исходя из поведения бесконечно малого, которое управляется элементарными законами; так, например, из универсального закона притяжения для двух материальных «элементов объёма» он позволяет вывести силу притяжения для протяжённых тел произвольной формы с однородным или неоднородным распределением масс. Но если не интерпретировать бесконечно малое «потенциально» в смысле предельного процесса, то одно не имеет отношения к другому, их поведения — одного в сфере конечного, а другого в сфере бесконечно малого — становятся совершенно независимыми друг от друга, и связующее звено рухнет. Здесь Евдокс был, несомненно, прав.

На первый взгляд, может показаться, будто бы эта победа предельного процесса в конце концов реализовала учение Аристотеля о том, что бесконечное существует лишь *dynamei*, в потенции, в процессе становления и прекращения существования, но не *energeiai*, в актуальности. Это далеко не так! Стремление Коши и Вейерштрасса в XIX веке прояснить основания анализа начиная с понятия предела привело к новой, мощной попытке преодолеть динамику бесконечного в пользу статических понятий — к теории множеств. Конкретная сходящаяся последовательность, например последовательность частичных сумм ряда Лейбница $\frac{1}{1} - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \dots$, которая сходится к $\frac{\pi}{4}$, не разворачивается в соответствии с неким не подчиняющимся никаким законам процессом, которому мы должны слепо довериться, чтобы узнать, что он производит на очередном своём шаге; напротив, эта последовательность задана раз и навсегда конкретным законом, сопоставляющим каждому натуральному числу n соответствующее приближённое значение суммы ряда, n -ю частичную сумму. Но закон — это понятие статическое. На вопрос, что

означает сходимость последовательности точек $P_1, P_2, \dots, P_n, \dots$ к точке P , анализ даёт ответ: она означает, что для любой положительной дроби ϵ существует такое натуральное число N , что расстояние PP_n меньше ϵ для всех индексов $n \geq N$. Динамика перехода к пределу выражена здесь статическим соотношением между последовательностью $\{P_n\}$ и точкой P — соотношением, которое может быть сформулировано лишь с неограниченным использованием терминов «существует» и «все» применительно к последовательности натуральных чисел. Эта точка зрения характеризует то, что мы назвали четвёртой стадией развития арифметики. Рассмотрим определение «число n называется чётным или нечётным в зависимости от того, существует или нет такое число x , что $n = 2x$ ». Для того, кто принимает это определение, с его обращением к бесконечной совокупности чисел x как имеющей смысл, открытая в бесконечность последовательность чисел превратилась в замкнутую совокупность объектов, существующих независимо, в сферу абсолютного существования «не от мира сего», доступную нашему сознанию лишь в виде отражённых отблесков. В этой сфере абсолютного закон исключённого третьего верен для любого свойства P , которым могут обладать числа. Отсюда следует альтернатива: либо существует число со свойством P , либо все числа обладают противоположным свойством не- P . Но чтобы можно было выяснить это при любых обстоятельствах, необходимо иметь возможность исследовать на предмет обладания свойством P всю последовательность чисел целиком, что противоречит природе бесконечного. Следовательно, нам не позволено интерпретировать утверждение о существовании как полную логическую сумму «1 обладает свойством P , или 2, или 3, или ... (бесконечное количество утверждений)», а утверждение о всеобщности — как логическое произведение «1 обладает свойством не- P , и 2, и 3, и ... (бесконечное количество утверждений)». Но тогда утверждение о всеобщности можно понимать лишь в гипотетическом смысле — как утверждающее нечто лишь в том случае, если дано конкретное число; а значит, его невозможно отрицать. Утверждение о существовании в этом случае имеет смысл лишь в отношении конкретного примера: данное конкретное число, построенное таким-то образом, обладает свойством P . Экзистенциальный абсолютизм пренебрегает подобными трудностями, укоренёнными в природе бесконечного, и принимает эти утверждения как обычные суждения, которые можно отрицать и противопоставлять друг другу в законе исключённого третьего.

Теория множеств, в её стремлении заложить строгие основания анализа, вынуждена идти гораздо дальше: она без ограничений применяет термины «существует» и «все» ко всем возможным последовательностям и множествам натуральных чисел — подразумевая, что подобные утверждения относятся к действительному положению вещей, которое будто «да» или «нет» сокрыто в самих вещах, даже если математическое исследование может превратить этот скрытый ответ в явный лишь благодаря счастливому случаю. Мы говорим о множестве всех чётных чисел, о множестве всех простых чисел. Таким образом, множество всегда описывается как множество всех чисел, обладающих тем или иным свойством; множество считается заданным, если чёткий критерий позволяет определить, какие элементы принадлежат ему, а какие нет. Но, задумавшись о том, существует ли среди всех множеств и последовательностей множество такого-то вида, едва ли можно отделаться от ощущения, что, задавая все «доступные» множества и последовательности законами, мы теряем хаотическое изобилие возможностей — множеств, «не подчиняющихся закону», «составленных произвольным образом»; тем самым чёткая альтернатива «существует или не существует?» несколько запутывается. Теория множеств без колебаний использует такие альтернативы в критериях, создаваемых ею для выяснения того, принадлежит ли точка или число данному множеству. Легко видеть, что тем самым она попадает в логический порочный круг. Правда, в самом анализе это до сих пор не привело к реальным противоречиям; данное обстоятельство мы пока не вполне понимаем. Однако Г. Кантор отбрасывает все ограничения, абсолютно свободно обращаясь с понятием множества и, в частности, позволяя для каждого множества строить множество всех его подмножеств. И только здесь, на самых окраинах теории множеств, возникают реальные противоречия. Однако их корень следует искать в том смелом поступке, который математика совершила в самом начале, решив обращаться с полем конструктивных возможностей как с замкнутым ансамблем независимо существующих объектов.

За последние тридцать лет критика со стороны А. Пуанкаре, Б. Рассела и прежде всего Брауэра постепенно открыла нам глаза на несостоятельность логической позиции, с которой начался метод теории множеств. На мой взгляд, больше не может быть сомнений в том, что эта третья попытка тоже провалилась — провалилась в том смысле, в котором она была предпринята. Поэтому теперь я рас-

смотрю четвёртую и последнюю попытку. Как осознал Д. Гильберт, спасти математику, не сокращая её классическое содержание, можно лишь при помощи радикально новой интерпретации через формализацию, которая, в принципе, превращает её из системы знаний в игру со знаками и символами по фиксированным правилам. Если распространить принятое в математике символическое представление на логические операции «и», «или», «существует» и т. п., каждое математическое утверждение превратится в лишённую смысла формулу, составленную из знаков, а сама математика — в игру с формулами, подчиняющуюся определённым соглашениям и в самом деле похожую на шахматы. Шахматным фигурам в математике соответствует ограниченный — или неограниченный — запас знаков; произвольному положению фигур на доске — объединение знаков в формулу. Одна или несколько формул считаются аксиомами; их шахматный аналог — предписанная правилами расстановка фигур в начале игры. Подобно тому, как в шахматах новое положение фигур получается из предыдущего с помощью хода, который обязан удовлетворять определённым правилам, в математике фиксированы формальные правила вывода, с помощью которых из данных формул разрешено получать, т. е. «выводить» новые. Некоторые формулы с наглядно описываемыми характеристиками объявлены противоречиями; в шахматах можно считать «противоречием» любую позицию, в которой, например, на доске находится больше восьми белых пешек. Пока что всё это игра, а не познание. Но в «метаматематике», как говорит Гильберт, сама игра становится объектом познания: мы хотим убедиться, что заключительная формула доказательства никогда не окажется противоречием. Именно эту непротиворечивость классического анализа, а не его истинность хочет обеспечить Гильберт; конечно, от истинности мы отреклись, отказавшись от интерпретации математики как системы значимых утверждений. Аналогично, когда мы доказываем, что в корректно сыгранной шахматной партии на доске не могут появиться более восьми белых пешек, — это уже не игра, а познание. Доказательство проводится следующим образом. В начале игры на доске находится восемь пешек; в результате хода, соответствующего правилам, число пешек не может увеличиться; следовательно, ... Здесь «следовательно» означает заключение методом полной индукции, при котором ходы данной партии рассматриваются шаг за шагом вплоть до финальной позиции. Содержательное мышление необходимо Гильберту лишь для того, чтобы получить этот

единственный продукт познания; доказательство непротиворечивости, предполагаемое в его программе, в принципе должно быть аналогично проведенному только что для шахматной партии, хотя, разумеется, гораздо сложнее. Ясно, что ограничения, установленные Брауэром для содержательного мышления, в этих рассуждениях соблюдены.

С этой формалистической точки зрения, вопрос о более глубоких основаниях для принятия наших аксиом и правил вывода столь же лишён смысла, как и в случае шахмат. Остаётся неясным даже то, почему нас вообще беспокоит непротиворечивость игры. Все возражения сняты, потому что ничего не утверждается; единственно возможная форма несогласия — отказ от участия в игре. Если бы математика ради собственной безопасности всерьёз ограничилась этим статусом чистой игры, она перестала бы играть роль определяющего фактора в истории познания. В реальности такого отречения она не совершала и никогда не совершит. Поэтому мы всё же должны попытаться вновь отвести математике некоторую роль на службе знания. Гильберт несколько туманно говорит о том, что бесконечное играет роль идеи в кантовском смысле, дополняя конкретное в смысле совокупности. Если я правильно понимаю, эта функция аналогична акту, с помощью которого я в своём сознании дополняю объекты, данные мне в реальности, формируя полную совокупность объективного мира, в котором содержится многое, что не доступно моему непосредственному восприятию.

Научная формулировка этой объективной концепции мира принята в физике, которая использует математику как средство построения. Но положение дел, преобладающее в теоретической физике, никоим образом не соответствует брауэровскому идеалу науки, его постулату о том, что каждое утверждение должно иметь свой конкретный смысл и этот смысл должен поддаваться интуитивному постижению. Напротив, утверждения и законы физики, взятые по отдельности, не имеют содержания, поддающегося экспериментальной проверке; сличать с реальностью можно лишь всю теоретическую систему в целом. В физике достигается не интуитивное познание конкретного или общего положения вещей и не описание, точно отображающее данные обстоятельства, но теоретическое, чисто символическое построение мира.

Соображения, представленные во всех трёх лекциях, с разных сторон приводят к этой фундаментальной точке зрения. Взяв для примера простейший математический объект, последовательность

натуральных чисел, я обрисовал переход от описания, просто категоризирующего реально существующие числа согласно некоторым описательным характеристикам и соотношениям, к построению открытого в бесконечность поля возможностей. В таком построении и заключается количественный метод физики; к примеру, реально наблюдаемые цвета не классифицируются подобно тому, как Линней классифицировал реально существующие растения, но приводятся к шкале длин волн, т. е. вкладываются в континуум, построенный согласно описанной выше схеме деления, в котором должен найти своё место каждый возможный цвет. Во второй лекции мы выяснили, что элементарный анализ должен быть доведён до выделения элементов, изменяющихся в некотором диапазоне возможностей, который с самого начала поддаётся контролю, будучи результатом свободной конструкции. Это один аспект проблемы, который я назвал конструктивным порождением поля вариаций. Другой аспект, который представляет для нас здесь наибольший интерес, состоит в том, что погружение данного конкретного случая — «индивидуального» — в это поле происходит не на основе характеристик, поддающихся непосредственному восприятию, но в результате умственных или физических манипуляций или взаимодействий, совершаемых с данным объектом. Например, чтобы задать число, нужно применить процесс счёта; чтобы определить массу тела, нужно дать ему вступить во взаимодействие с другими телами и применить закон сохранения импульса. Но данный аналитический метод доставляет не конкретные свойства, а «идеальные атрибуты». Мы приписываем объектам эти идеальные атрибуты, даже если манипуляции, необходимые для их «измерения», в действительности не производились. Указание расстояния от Земли до Солнца в футах имело бы смысл, поддающийся проверке при существующем положении дел, только при наличии жёсткого шеста с отметками, нанесёнными при помощи движущейся измерительной линейки, стоящего на Земле таким образом, что его конец касается Солнца. Но такой шест между Землёй и Солнцем не существует, измерение при помощи линейки в действительности не проводилось. Следовательно, подобного рода геометрические утверждения не имеют смысла, проявляющегося в конкретных фактах; сеть идеальных определений соприкасается с экспериментальной реальностью лишь в отдельных местах, но в этих точках контакта идеальные определения и опыт должны быть согласованы. Квантовая теория показала, что преобразование результатов возможных взаимодействий в свойства — дело небезопас-

ное. Два свойства можно спокойно объединить при помощи «и», но для результатов двух измерений это не так, потому что проведение одного может сделать другое в принципе невозможным.

Чтобы пояснить, в чём заключается необходимое согласие между теорией и экспериментом, рассмотрим следующий пример, который я постарался выбрать как можно проще. Пусть мы наблюдаем одно-единственное колебание маятника; предположим, что можно определить его длительность напрямую с ошибкой в 0,1 секунды, так что периоды колебаний, теоретически отличающиеся менее чем на 0,1 секунды, нашему прямому восприятию представляются равными. Но существует простой метод увеличить точность в сто раз: нужно подождать 100 колебаний и разделить полученный промежуток времени на 100. Однако это косвенное определение опирается на некое предположение, а именно, что каждое отдельное колебание занимает одно и то же время. Конечно, этот факт можно проверить с точностью до 0,1 секунды непосредственным наблюдением. Но я имею в виду другое. На самом деле мы хотим заявить, что периоды колебаний абсолютно равны или равны со стократной точностью. Это предположение, как и утверждение о длительности одного колебания, не имеет смысла для интуитциониста, не выходящего за пределы интуитивной точности. И всё же некоторая проверка теории возможна: мы обнаруживаем, что длительность m последовательных колебаний относится к длительности n колебаний как $m : n$, если m и n — большие числа. (Для проверки произвольным образом выбираются несколько серий последовательных колебаний.) В общем случае ситуация такова: с помощью точных законов теории, взятой за основу, величина x , которую необходимо определить, ставится в функциональную зависимость от ряда других величин. Наблюдая эти величины, можно делать выводы относительно значения величины x , что позволяет определить её точнее, чем это возможно сделать на основе прямого наблюдения. Применяемая теория считается справедливой, если с точностью до ожидаемой ошибки все косвенные методы определения величины x дают один и тот же результат. Однако каждое такое косвенное определение, каждое различие, не существующее для интуитивного восприятия, возможно лишь на основе той или иной теории. И проверить эти теории можно, только убедившись в том, что при проверке всех числовых следствий они дают согласие в пределах возможной ошибки.

Это глубокий философский вопрос, какую «истинность» или объективность можно приписать теоретической конструкции, выходя-

щей далеко за пределы актуально данного. Обсуждавшееся выше согласие с экспериментом — необходимое требование, которому должна удовлетворять любая теория. Но оно включает в себя непротиворечивость теории, так что мы получаем и рациональный ответ на вопрос, почему нам важна непротиворечивость формализованной математики: это та часть согласия, которая относится только к самой теории, — часть, в которой теория ещё не сопоставлена с опытом. И задача математика — следить за тем, чтобы теории конкретных естественных наук удовлетворяли этому условию *sine qua non*: чтобы они были формально точны и непротиворечивы. Мою точку зрения можно подытожить следующим образом: если математика берётся сама по себе, следует вместе с Брауэром ограничиться интуитивно познаваемыми истинами и рассматривать бесконечное лишь как открытое поле возможностей; ничто не заставляет нас идти дальше. Но в естественных науках мы вступаем в контакт с областью, непроницаемой для интуитивного восприятия; познание с необходимостью становится символической конструкцией. Поэтому здесь не нужно требовать, чтобы при вовлечении математики в процесс теоретического построения в физике было возможно выделить математический элемент как особую область, где все суждения интуитивно достоверны; думаю, с этой высшей точки зрения, с которой вся наука выглядит как единое целое, Гильберт прав.

В заключение я попытаюсь в нескольких общих тезисах собрать тот опыт, который математика накопила за всю свою историю, исследуя бесконечность.

1. В духовной жизни человека следует явно различать две сферы: с одной стороны, сфера созидания (*Gestaltung*), сфера конструктивного, которой посвящают себя действующий художник, учёный, технический специалист, государственный деятель; с другой стороны, сфера рефлексии (*Besinnung*), которая осуществляется в процессе познания и которую можно рассматривать как личные владения философа. Опасность конструктивной деятельности, не направляемой рефлексией, в том, что она теряет смысл, сбивается с пути, погружается в рутину; опасность пассивной рефлексии в том, что она может вести к невразумительным «разговорам ни о чём», парализующим созидательную силу человека. Здесь мы занимались рефлексией. Математика Гильберта, равно как и физика, принадлежит сфере конструктивного действия; однако метаматематика, с её познанием непротиворечивости, относится к рефлексии.

2. Несомненно, наука не может достичь своей цели только лишь через интуитивное познание, поскольку объективная реальность, с которой она имеет дело, по самой своей природе непроницаема для разума. Но даже в чистой математике, или в чистой логике, нельзя установить истинность формулы с помощью описательных характеристик. Мы вынуждены обращаться к действию: начиная с аксиом, мы применяем практические правила вывода в произвольно частых повторениях и комбинациях. В этом смысле можно говорить об изначальной скрытости причин: мы не обладаем истиной, мы не можем постичь её, просто широко раскрыв глаза; истины следует достигать действием.

3. Бесконечное интуитивно доступно разуму в виде поля возможностей, открытого в бесконечность, подобно последовательности чисел, которую можно продолжать неограниченно; однако

4. Завершённая, актуальная бесконечность как замкнутая сфера абсолютного существования находится вне пределов его досягаемости.

5. И всё же стремление к полноте и метафизическая вера в реальность неизбежно заставляют разум представлять бесконечное как замкнутую сущность с помощью символической конструкции.

К этим выводам, полученным в ходе развития математики, я отношусь всерьёз в философском смысле. Как я попытался объяснить, математические тенденции, впервые обозначившиеся в трудах Николая Кузанского, разрабатывались на протяжении многих веков и достигли своего осуществления. Поэтому содержание данной лекции я прошу рассматривать как более точное изложение, отсылающее к тому, что было сказано в первой лекции относительно математических и теологических идей Николая Кузанского. Если, следуя по его стопам, попытаться дать теологическую формулировку последних трёх выводов, можно сказать следующее.

Мы отвергаем тезис о категорической конечности человека — как в атеистической форме упрямой конечности, столь заманчиво излагаемой сегодня в Германии фрайбургским философом Хайдеггером, так и в теистической, прежде всего лютеранско-протестантской форме, где она служит фоном для яростной драмы раскаяния, откровения и благодати. Напротив, разум — это свобода в рамках существования; он открыт бесконечному. Бог как завершённое бесконечное не может и не будет им постигнут; как Бог не в состоянии проникнуть в человека посредством откровения, так и человек в Бога посредством мистического восприятия. Завершённую бес-

конечность мы можем лишь представить с помощью символов. Из этих взаимоотношений каждый созидательный акт человека получает своё глубокое освящение и достоинство. Но, насколько я могу судить, лишь в математике и физике символически-теоретическое построение приобрело достаточную основательность, чтобы быть убедительным для каждого, чей разум открыт этим наукам.

I. Субъективные элементы чувственного восприятия

Цель этих лекций — дать краткий обзор характерных черт математико-физического метода познания. При этом один тезис я хотел бы подчеркнуть особо: структура научного познания мира решающим образом обусловлена тем фактом, что этот мир существует не сам по себе — мы всего лишь находим его в качестве объекта в корреляционном противопоставлении субъекта и объекта. Мир существует лишь как то, с чем сталкивается «я», что показывается сознанию; в этой своей функции сознание не принадлежит миру — оно выделяется из сферы бытия как сфера видения, смысла, изображения, назовите как угодно.

Содержание отдельных лекций таково. Сначала мы хотим уяснить с наивной точки зрения обычного человека или человека с естественно-научным образованием, до какой степени наши представления об объектах внешнего мира зависят от нашей психофизической организации; особенно подробно мы проведём этот анализ для зрительного восприятия. Во второй лекции мы рассмотрим эпистемологические соображения, которые в принципе подвергают сомнению реалистическую точку зрения; и в то же время распространим теорию субъективности качеств ощущения на воспринимаемые формы пространства и времени. В приложении к научному познанию мы заключим, что оно не констатирует и не описывает положение вещей — «Дело обстоит так-то и так-то», — но конструирует символы, посредством которых «представляет» мир видимостей. Третья лекция показывает, прежде всего в контексте формирования конструктивных понятий и теорий естественных наук, что актуально существующему и ограниченности чистой актуальностью непременно должны быть противопоставлены — и поставлены впереди — поле возможностей и свободный выбор в таком поле. Чтобы все эти

методологические рассмотрения не остались слишком абстрактными, в четвёртой лекции мы проиллюстрируем их на примере теории относительности Эйнштейна. Под конец я хотел бы обсудить современную квантовую теорию, пролившую совершенно новый свет на отношения между субъектом и объектом в научном познании.

Сегодня мы начнём с анализа, прежде всего в области зрительно-го и особенно цветового восприятия, отношений между субъектом и объектом, как оно выглядит с точки зрения реалиста с естественно-научным образованием. Зрительные ощущения даёт нам свет. Проследим его путь от объекта, который излучает, рассеивает или отражает свет, до сетчатки глаза. Очевидно, зрение не предоставляет нам полноценную реальность — предмет, как он есть на самом деле. Обычный разум приходит к осознанию кажимости возникающих перед ним изображений благодаря перспективе и теням; или — если в силу обыденности они уже перестали вызывать удивление, — таким явлениям, как радуга и обманчивость отражения в зеркале. Строки множества поэтов являют смятение человека от осознания кажимости видимого мира, которое подталкивает его к тревожному вопросу о его собственной реальности:

Leben wir alle nur in Spiegelland?

Leben wir alle nur in Spiegellicht?¹

Живём ли мы все лишь в зеркальной стране?

Живём ли мы все лишь в зеркальном свете?

Зрительный образ объекта не просто отделяется от него и проникает в мой мозг, не просто является моему сознанию без изменений и посредников; свет, воздействующий на мои органы чувств, производится объектом и перемещается в пространстве согласно физическим законам. Следовательно, образ, который я вижу, ни в коей мере не изображает сам объект — он зависит не только от него, но и от сопутствующих физических обстоятельств. Например, отражающая поверхность, преграждающая путь световым лучам, заставляет их достигать моего глаза таким же образом, каким без подобного искусственного приспособления они могли бы достичь его, только если бы объект, иллюзию которого создаёт отражённый образ, действительно существовал. Аналогично, преломление солнечного

¹Строки из стихотворения немецкого писателя Вильгельма фон Шольца (1874—1969).

света в капле воды, составляющей облако, создаёт перед моим взором иллюзию радуги. Цвета, в которые облачаются передо мной объекты внешнего мира, существенным образом зависят от освещения. Верно ли, что киноварь красная? Да, она видится таковой в белом свете, однако в зеленоватом свете представляется почти чёрной. Какой же из цветов правильный? Это глупый вопрос; первый цвет выделен лишь тем, что соответствует привычным, нормальным обстоятельствам, ибо белый солнечный свет — это наш естественный источник освещения. Физик объясняет положение вещей следующим образом. Киноварь, благодаря строению своих молекул, из всех цветов спектра отражает почти исключительно красный, а все остальные цвета в основном поглощает. Но спектральный состав света, отражаемого киноварью, зависит не только от её строения, но и, естественно, от спектрального состава падающего на неё света. Таким образом, с теоретической точки зрения, объективное постоянное свойство киновари, соответствующее её красному цвету, воспринимаемому в нормальных условиях, кроется в её молекулярном строении; или, используя более феноменологическую формулировку, в законе, согласно которому спектральный состав падающего на киноварь света преобразуется в спектральный состав света, ею отражаемого.

Из нашего примера можно извлечь общий закон психофизического близкодействия: ни одно из наших чувств, в том числе зрение, не простирается на дальние расстояния; то, что я вижу, определяется лишь состоянием зрительного поля в зоне соприкосновения с моим органом чувств (то есть, в случае зрения, с сетчаткой).

Геометрическая форма зрительного «образа», запечатлённого сетчаткой, отчасти напоминает объект — или, скорее, то его изображение, которое рисует геометрическая оптика согласно законам перспективы. Этим мы обязаны одному счастливому обстоятельству, которое, однако, с физической точки зрения совершенно случайно: длина волны того света, который служит нам для зрительного восприятия, мала по сравнению с жизненно важными для нас размерами внешних объектов. (Поэтому неважно, что из-за того, что чувственное раздражение передаётся от непосредственно затронутого места сетчатки в его окрестность, детали изображения, сравнимые по порядку величины с длиной волны, размываются: точность образа находит своё естественное ограничение в структуре чувственного аппарата, воспринимающего впечатление. Но это просто к слову.) Однако когда размеры объекта, сравнимые

по порядку величины с длиной волны, растягиваются в образе на ощутимое расстояние, геометрическое подобие между объектом и изображением полностью теряется. Если осветить щель толщиной всего в несколько длин волны, то её зрительный образ, благодаря дифракции света, будет состоять из целой серии параллельных полос. Если на кристалл, состоящий из атомов, расположенных в виде

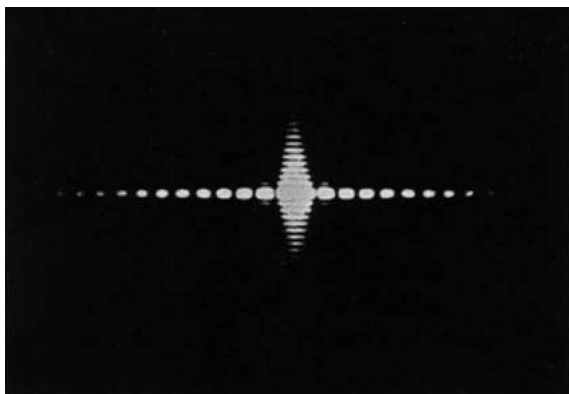


Рис. 7. Дифракция на маленькой щели. (Ширина щели $1/4$ мм; источник света — круглая диафрагма, освещаемая сзади. Фотография А. Кёлера. Заимствована из книги М. Born, *Optik*, Berlin, 1933.)

регулярной решётки на расстоянии порядка 10^{-8} см = 1 \AA друг от друга, направить рентгеновские лучи, длина волны которых имеет тот же порядок величины, то на фотопластине возникнет знаменитая интерференционная картина Лауэ, которая, очевидно, ни в каком отношении не напоминает геометрический образ атомов в их взаимном расположении. Насколько иным казался бы нам мир и насколько труднее нам, возможно, было бы ориентироваться в нём с помощью зрительных образов, если бы наш глаз был восприимчив к волнам другой длины!

Полагаю, чтобы эти рассуждения были полностью понятны, следует добавить несколько слов о природе света. Как учит нас физика, свет представляет собой колебательный процесс, который распространяется с огромной скоростью $c = 300\,000$ километров в секунду. Что именно колеблется, для нас не так важно. (Когда-то считалось, что существует некая колеблющаяся субстанция, световой эфир; по аналогии с тем, как переносчиком звуковых волн является реально существующий воздух. Однако это предположение приводило ко

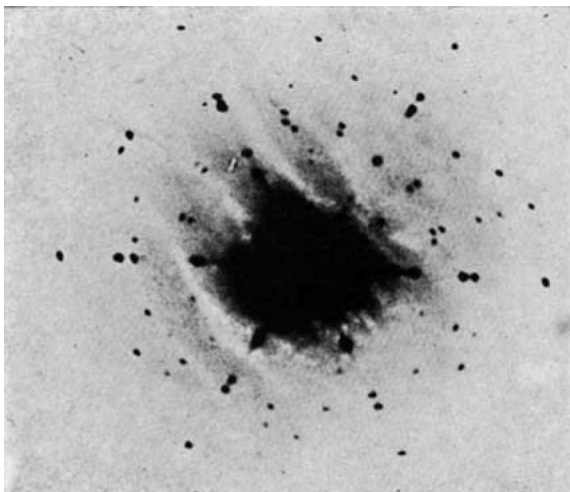


Рис. 8. Интерференция Лауэ при рассеянии на кристалле. Фрагмент фотографии Г. Л. Локера, Исследовательский фонд Бартола.

всё более нетерпимым противоречиям. Сегодня мы знаем, что колеблется слабое электромагнитное поле. Но если для вас это не более чем модное слово, пока забудьте об этом.) Простое колебание характеризуется своей *частотой* ν — числом колебаний в секунду. Это число одновременно задаёт длину λ распространяющейся волны согласно закону $\lambda = c/\nu$. Для чувственного восприятия частота или длина волны проявляется в цвете. Однако наш глаз восприимчив к свету лишь в определённом диапазоне частот; видимый спектр, от самого красного до самого фиолетового, охватывает длины волн примерно от $\lambda = 7500 \text{ \AA}$ до 4000 \AA , то есть простирается менее чем на октаву — если по аналогии воспользоваться языком музыки, описывающим звуковые волны. Но это отнюдь не означает, что волны большей или меньшей длины нам неизвестны; мы можем продемонстрировать их существование с помощью физических эффектов, которые они вызывают, и показать, что во всех отношениях они ведут себя так же, как световые лучи. За красным концом видимого спектра расположены инфракрасные тепловые лучи с длинами волн вплоть до сантиметра и километра, которые применяются в беспроводной телеграфии; за фиолетовым концом следует ультрафиолетовый диапазон, доходящий до волн с длинами порядка 1 \AA — рентгеновских лучей; «космические лучи» неизвестно-

го происхождения, проникающие к нам из межзвёздного пространства, имеют ещё меньшие длины волн. К сожалению, сетчатка — это аппарат для восприятия эфирных волн, отвечающий лишь на весьма узкий интервал частот. Фотопластина в этом отношении работает гораздо лучше. То обстоятельство, что наш глаз реагирует в точности на длины волн порядка 6000 \AA , без сомнения, связано с тем, что естественный свет, в котором видят предметы все живые существа на Земле, т. е. солнечный свет, имеет максимум интенсивности (в спектральном разложении) именно в этой окрестности. Спекуляции о том, как возникла данная конкретная адаптация живых существ к окружающей среде, следует оставить биологам.

В последних рассуждениях мы незаметно перешли от влияния, которое оказывают на наше чувственное восприятие сопутствующие физические обстоятельства, к влиянию, проникающему гораздо глубже и разрушающему всякое подобие между оригиналом и изображением, — к влиянию нашей психофизической организации. Как мы видели, сетчатка блокирует подавляющую часть «света», излучающегося во Вселенной. Но даже в том диапазоне, к которому сетчатка чувствительна, она сильнейшим образом искажает и редуцирует изображение. Прежде чем мы опишем это явление более подробно, следует выдвинуть общий принцип физиологии чувств.

Качества, которые мы приписываем объектам внешнего мира, соответствуют нашим пяти чувствам: пока они даже полностью определяются физиологической структурой наших органов чувств. Один и тот же физический агент воздействует на различные чувства. Солнечное излучение приносит свет и тепло; если его луч перехватывается или отклоняется, прекращаются оба этих воздействия. Физики долго колебались, изучая и отбрасывая все возможные возражения, прежде чем допустили идентичность световых и тепловых лучей, принципиальное различие которых, казалось бы, проявляется в том, как мы ощущаем свет и тепло. Напротив, возбуждение данного конкретного органа чувств вызывает только специфическое для него ощущение, но зато это может происходить по самым разным причинам. Глаз возбуждается, приводя к световым ощущениям, не только когда на него падает физический свет, но также в результате воздействия электрического тока, удара или нажатия на глазное яблоко, введения в зрительный нерв наркотического яда, раздражения остатка зрительного нерва при операциях. Свет является адекватным раздражителем для глаза только в том

смысле, что своим расположением в теле глаз хорошо защищён от всех прочих воздействий и бесконечно более чувствителен к свету, чем остальные органы чувств. Изложенные здесь факты в их фундаментальной важности впервые резюмировал в начале XIX века физиолог Иоганнес Мюллер в своём законе «специфических энергий органов чувств». К слову сказать, эта специфичность заведомо локализована не в соответствующих нервах, а только лишь уже в мозге. Действительно, как выяснилось в ходе хирургических операций, нервы, относящиеся к различным чувствам, функционально взаимозаменяемы. Они подобны телеграфным проводам, которые посредством электрического тока то заставляют звенеть звонок, то приводят в действие пишущий телеграф, то осуществляют химическое разложение и так далее.

Но давайте теперь возбудим сетчатку адекватным для неё раздражителем — светом — и изучим чуть более подробно, как именно сетчатка отображает многообразие объективно существующих физических цветов с помощью процесса, запускаемого в ней световым возбуждением. Монохроматический свет — в том, что касается его качества, — полностью определяется длиной волны, потому что в этом случае закон, описывающий колебания в зависимости от времени, и волновая структура имеют простую математическую форму, которая задаётся функцией синуса или косинуса. Каждое физическое проявление такого света полностью определяется длиной волны вкупе с интенсивностью. В акустике монохроматический свет соответствует чистому тону. При смешивании различных видов монохроматического света получается сложный свет — точно так же, как ноты складываются в сложный звук. Это происходит благодаря наложению простых колебаний различной частоты с определёнными интенсивностями. Простые цвета образуют одномерное многообразие, поскольку конкретный элемент внутри него задаётся одним непрерывно изменяющимся числом — длиной волны. Однако сложные цвета с физической точки зрения образуют бесконечномерное многообразие. Для полного описания сложного цвета необходимо указать, с какой интенсивностью J_λ в нём представлена каждая из бесконечно многих возможных длин волн λ ; таким образом, описание включает бесконечно много независимо изменяющихся величин J_λ . До чего же скудна по сравнению с этим область цветов, доступных зрительному восприятию! Как показал ещё Ньютон с помощью своего цветового диска, они образуют лишь двумерное многообразие. Ньютон представил простую

последовательность насыщенных цветов спектра, от красного до фиолетового, разместив их по краю диска (и заполнив оставшийся зазор пурпурным цветом, не входящим в спектр). Вторая переменная — это степень насыщенности: в центре диска находится чисто белый цвет, а следуя вдоль радиуса, соединяющего граничную точку с центром, мы проходим через различные степени насыщения, получаемые из цвета, расположенного на краю, подмешиванием белого во всё возрастающей пропорции.

Это расхождение между изобилием физических «цветовых аккордов» и скудостью цветов, доступных зрительному восприятию, объясняется тем, что очень многие физически различные цвета запускают в сетчатке один и тот же процесс, а значит, вызывают одно и то же цветовое ощущение. При параллельной проекции пространства на плоскость все точки пространства, лежащие на проектирующем луче, вынужденно отображаются в одну и ту же точку плоскости; аналогично, и обсуждаемый процесс осуществляет своего рода проекцию области физических цветов, с её бесконечным числом размерностей, на двумерную область видимых цветов, тем самым заставляя многие физически различные цвета совпадать. В этом отношении глаз гораздо грубее уха. Действительно, благодаря так называемому «тембру» сложного звука ухо прекрасно различает пропорции, в которых смешаны фундаментальный тон и его гармоники; оно слышит и отдельные звуки в аккорде. С другой стороны, глаз исключительно тонко воспринимает формы, пространственные различия. Очевидно, природа замыслила его прежде всего с этой целью; а от восхитительной игры световых колебаний и их наложений в пространстве нам достаётся лишь крайне бледная репродукция в видимых цветах.

Мне кажется полезным описать чуть более подробно «геометрию», действующую в двумерном многообразии видимых цветов, поскольку и в нём также можно заниматься математикой. Фундаментальная операция, которую можно производить с такими цветами, — это *смешивание*: цветные лучи соединяются друг с другом в пространстве (это, разумеется, не то же самое, что смешивание цветных субстанций на палитре художника). Оказывается, что различные цвета можно представить точками плоскости таким образом, что цвета, возникающие при смешивании двух произвольных цветов A и B , в геометрическом образе будут заполнять прямолинейный отрезок AB . Возникает соблазн устроить это представление таким образом, чтобы при смешивании фундаментальных цве-

тов A, B с относительными интенсивностями i_A, i_B возникал цвет P , который в геометрической картине делит отрезок AB как центр тяжести двух масс величины i_A, i_B , расположенных в точках A и B , т. е. так, что выполняется соотношение

$$PB : PA = i_A : i_B.$$

Однако сравнение интенсивностей двух световых лучей разного цвета лишено интуитивного смысла; такое сравнение возможно лишь для лучей одинакового цвета. Поэтому мы произвольным образом выбираем две интенсивности i_A° и i_B° цветов A и B в качестве единиц и называем цвет, полученный смешением их в этой пропорции, U . Теперь мы можем задать любую интенсивность i_A цвета A с помощью числа $i'_A = i_A/i_A^\circ$ (используя i_A° в качестве единицы) и аналогично задать любую интенсивность $i'_B = i_B/i_B^\circ$ цвета B . Тогда цвет P , получаемый смешением этих двух фундаментальных частот с относительными интенсивностями i_A и i_B , окажется в такой точке геометрического образа, что ангармоническое отношение $\frac{PB}{UB} : \frac{PA}{UA}$ совпадает с ангармоническим отношением i'_A/i'_B , точнее $\frac{i'_A}{i'_B} : \frac{i'_A}{i'_B}$. Ма-

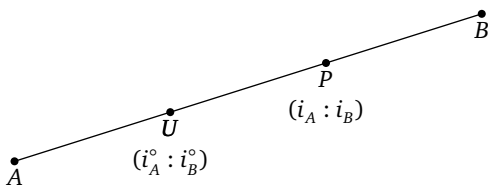


Рис. 9. Смешивание цветов. (Здесь i_A°, i_B° и i_A, i_B — интенсивности цветов A, B ; при смешивании их в этих пропорциях возникают цвета U и P на «отрезке» AB . Относительные интенсивности $i'_A = i_A/i_A^\circ$ и $i'_B = i_B/i_B^\circ$ — это числа. Ангармоническое отношение $i'_A : i'_B$ задаёт положение точки P относительно «координатной системы» AB, U .)

тематик говорит, что видимые цвета и их смеси подчиняются двумерной проективной геометрии. А именно, фундаментальное соотношение проективной геометрии — принадлежность трёх точек одной прямой, и объективный смысл в ней имеют лишь ангармонические отношения четырёх отрезков, скажем $AU, BU; AP, BP$, — но не отношения двух отрезков, как в обычной метрической геометрии. Правда, если быть совсем точным, в пространстве цветов их смеси составляют не прямую AB , но прямолинейный отрезок AB . Таким образом, цвета образуют выпуклую область в полной проективной плоскости; действительно, характеристическое свойство

выпуклой области состоит как раз в том, что вместе с двумя точками A, B она всегда содержит все точки отрезка, соединяющего A и B . Следовательно, однозначный вывод из нашего опыта таков: доступные зрительному восприятию цвета P можно непрерывно представить точками P' выпуклой области проективной плоскости, $P \rightarrow P'$, таким образом, что цвет P , полученный смешиванием цветов A и B , представляется точкой P' , лежащей на отрезке $A'B'$, причём при получении из A и B двух сложных цветов U и P ангармоническое отношение отрезков, на которые отрезок $A'B'$ делится соответствующими точками U', P' , равно ангармоническому отношению интенсивностей, с которыми смешиваются цвета A и B . Цвета и их смеси подчиняются тому же закону, что точки и соединяющие их отрезки в выпуклой области проективной плоскости. Все теоремы проективной геометрии, верные для такой области, обладают прямой интерпретацией и истинностью для видимых цветов.

Ньютоновское отображение на цветовой диск правильно воссоздавало в геометрическом образе лишь многообразие и непрерывную связь цветов, но ещё не было представлением, сохраняющим проективные отношения, как мы теперь требуем. Если построить отображение, удовлетворяющее этому новому требованию, как будет выглядеть выпуклая область, заполненная точками, представляющими видимые цвета? В соответствии с учениями Юнга, Максвелла и Гельмгольца, эти точки образуют (примерно) треугольник с прямолинейными сторонами, в углах R, G, V которого расположены некоторые оттенки красного, зелёного и фиолетового соответственно. Чисто белый цвет представлен точкой U (выбираемой случайным образом) во внутренности треугольника. Отображение цветов в точки треугольника тем самым полностью определено. Проективному геометру такой треугольник, состоящий из трёх фундаментальных точек R, G, V с «единичной точкой» U , выбранной в его внутренности, знаком как координатная система, относительно которой любую точку проективной плоскости можно задать с помощью чисел. Юнг предложил даже физиологическую теорию восприятия цвета, призванную объяснить возникновение цветового треугольника. В сетчатке происходят три фундаментальных химических процесса — красный, зелёный и фиолетовый; падающий свет возбуждает их с различной интенсивностью. Чистый красный, чистый зелёный или чистый фиолетовый свет запускает всегда лишь один из этих процессов. В общем случае качество воспри-

нимаемого цвета определяется соотношением интенсивностей, с которыми запускаются три процесса. Впоследствии более точные наблюдения привели к созданию другой теории, принадлежащей Эвальду Герингу. Согласно ему, существует три химических процесса, каждый из которых может запускаться в одном из двух направлений. Первый процесс, будучи запущен в одном направлении, вызывает ощущение красного, а в другом — зелёного. Второй процесс является жёлто-синим, третий — чёрно-белым. Более того, следует предполагать, что каждое световое возбуждение запускает чёрно-белый процесс по крайней мере с той же интенсивностью, что и два других истинно цветных процесса. (Эта иносказательная формулировка на самом деле означает, что на интенсивности двух истинно цветных процессов следует наложить некоторое ограничение в терминах интенсивности чёрно-белого процесса.) Насколько мне известно, до сих пор не удалось найти физиологических доказательств существования этих процессов или их проводников в сетчатке.

В том, что касается слуха, мы находимся в более выгодном положении. Разложение звукового возбуждения на чистые тона осуществляется ещё в ухе, до того, как оно передаётся нервным волокнам; этим занимается так называемый кортиев орган, представляющий собой нечто вроде арфы, многочисленные струны которой отвечают частотам различных чистых тонов, содержащихся в сложном звуке. Совершенно разным строением перцептивного аппарата в ухе и глазе полностью объясняется с физиологической точки зрения, почему для соответствующих чувств преобразование поступающего возбуждения в восприятие даёт настолько разные результаты. Мы не хотим далее вдаваться в физиологию зрительного восприятия. Для читателя, желающего получить более точную информацию на этот счёт, подходящим руководством по-прежнему являются классические работы Гельмгольца «Физиологическая оптика» и «Учение о слуховых ощущениях». За краткой сводкой я дополнительно отсылаю к лекциям о «Новейших успехах теории зрения», которые содержатся в его «Gesammelte Vorträge und Reden» (сборнике популярных научных лекций). Мы же будем просто иметь в виду, что эта обедняющая проекция пространства физических цветов, с его бесконечной размерностью, на двумерное многообразие видимых цветов происходит ещё в рецепторном аппарате, в сетчатке. Она пока ещё не касается тайны соотношения между реальностью и восприятием, но является всего лишь периферийным физиологи-

ческим процессом, который можно понять на чисто физико-химическом уровне.

Остановимся здесь на минуту. Ибо возникает вопрос: почему физика не довольствуется этой областью видимых цветов, имеющей всего две размерности? Что заставляет её заменять их колебаниями эфира или чем-то подобным? В конце концов, наши зрительные ощущения ничего не говорят нам о колебаниях эфира; в ощущениях нам даны ровно эти цвета — так, как воспринимает их наше зрение. Ответ: два световых луча, вызывающих одну и ту же реакцию глаза, вообще говоря, различны во всех своих прочих физических и химических проявлениях. Например, если осветить одну и ту же цветную поверхность двумя световыми лучами, которые зрение воспринимает как один и тот же белый свет, то освещённая поверхность будет выглядеть совершенно по-разному. Красный и сине-зелёный свет вместе дают белый, равно как и светло-коричневый вместе с фиолетовым. Но на фотопластине мы получим в первом случае тёмный оттенок, а во втором — очень светлый. Если пропустить два луча, которые представляются зрению одним и тем же белым светом, через одну и ту же призму, распределение интенсивности в спектре, возникающем за призмой, будет разным. Поэтому физика не может объявить два цвета, которые мы воспринимаем как одинаковые, действительно одинаковыми, иначе она войдёт в конфликт со своим основополагающим принципом: одни и те же причины при одних и тех же условиях приводят к одним и тем же результатам. Следовательно, ощущаемое нами равенство для физики есть лишь более или менее случайное совпадение реакций, вызываемых на сетчатке физически различными агентами. Случайное совпадение реакций обусловлено специфической природой перцептивного аппарата; на фотопластине одинаковый результат будут давать совершенно другие световые лучи.

К слову сказать, всё изложенное выше относится лишь к нормальному человеческому глазу. В случае людей, страдающих красно-зелёной слепотой, которые среди нас не столь уж редки, следует внести в эти описания существенные поправки. Из опытов с дрессировкой пчёл выяснилось, что пчёлы восприимчивы к ультрафиолетовому свету: они «летят на ультрафиолет».

Подытожим результаты нашего краткого исследования словами Гельмгольца (см. его вторую лекцию о теории зрения): «Таким образом, между качеством света и качеством ощущения остаётся только одно соответствие; сначала оно может показаться довольно незна-

чительным, на самом же деле его можно с пользой приложить во многих случаях: „Одинаковый свет при одних и тех же условиях возбуждает одинаковые цветные ощущения. Свет, возбуждающий при одних и тех же условиях разные цветные ощущения, неодинаков.“¹ Ламберт аналогичным образом сформулировал эту аксиому ещё в своей «Фотометрии» (1760): «Видение одинаково всякий раз, когда один и тот же глаз подвергается одному и тому же воздействию». Далее Гельмольц объясняет этот тезис, проводя плодотворное и проясняющее ситуацию различие между изображением и знаком. Протицирую буквально несколько предложений из только что упомянутой лекции.

Такое соответствие между двумя обстоятельствами указывает на то, что одно из них является признаком другого. Мне кажется, что недостаточно тщательное разграничение понятий о знаке и изображении, существовавшее до сих пор в учении о восприятиях, было причиною бесчисленных заблуждений и ошибочных теорий.

Изображение должно быть подобно изображённому предмету. Оно только настолько и является изображением, насколько такое подобие имеет место. Статуя представляет изображение человека, если в своих формах воспроизводит формы человека. Если она даже исполнена в уменьшенном масштабе, известной пространственной единице должна в ней соответствовать определённая величина.

Картина является изображением оригинала отчасти потому, что подражает его окраске подходящими тонами, отчасти потому, что соответственным образом изменённых пространственных отношениях воспроизводит некоторые пространственные отношения оригинала, именно его перспективную проекцию.

Нервные раздражения в нашем мозгу и представления в нашем сознании могут быть изображениями того, что происходит во внешнем мире, если последовательность во времени первых вполне соответствует последовательности во времени вторых и если они обозначают одинаковые предметы одинаковыми знаками, а следовательно, и закономерную последовательность — такую же закономерную последовательностью.

Этого, очевидно, достаточно для задач нашего разума, который из непрерывной смены мировых явлений должен выбирать то, что остаётся неизменным, и соединять в понятие или закон.

¹Здесь и далее цит. по изд.: Гельмгольц Г. О зрении человека. Новейшие успехи теории зрения. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. Пер. под ред. О. Д. Хвольсона, С. Я. Терешина.

И немного далее:

Следует только избегать смешения понятий, соединённых со словами «проявляться» и «казаться». В окраске тел проявляются определённые объективные различия в свойствах тел; значит, и с точки зрения естествознания они не представляются чем-либо кажущимся, хотя то, каким образом они проявляются, зависит прежде всего от устройства нашего нервного аппарата. Обманчиво казаться может что-нибудь только в том случае, если тот вид, в котором обыкновенно проявляется объект, мы заменим видом проявления другого предмета. Но это никогда не может случиться при рассматривании красок; другого рода проявления, которое по отношению к глазу мы могли бы назвать нормальным, для них не существует.

В другом месте Гельмгольц формулирует то же утверждение в общем виде так: «Разница в ощущениях, которую мы испытываем, всегда имеет основанием разницу в действительных условиях». Но тело наблюдателя, осуществляющего восприятие, естественным образом включается в эти действительные условия как физический объект. И Гельмгольц формулирует этот принцип «эмпиристического подхода»:

Ощущения для нашего сознания представляют собой лишь знаки, научиться понимать смысл которых — задача нашего разума. <...> Когда мы научаемся расшифровывать правильным образом эти символы, мы оказываемся в состоянии, при их помощи, направлять наши действия так, чтобы получать желаемый результат, т. е. так, чтобы возникали ожидаемые новые ощущения. Иной способ сравнивать понятия и предметы не только не существует в действительности — все школы в этом согласны, — но и абсолютно непостижим и не имеет абсолютно никакого смысла.

Для соотношения, которое, согласно Гельмгольцу, существует между объектами и их знаками, математика ввела термин «изоморфные представления». Я бы хотел дать точное объяснение этого понятия в том, что касается соответствия между точками проективной плоскости и цветами, о котором говорилось ранее. С одной стороны, у нас есть многообразие Σ_1 объектов — точек некой выпуклой области в проективной плоскости, которые связаны друг с другом некоторыми фундаментальными соотношениями R, R', \dots ; в данном случае, помимо непрерывной связи между точками, имеется лишь одно фундаментальное соотношение: «Точка C лежит на отрезке AB ». В проективной геометрии возникают лишь такие

понятия, которые могут быть логически определены на этой основе. С другой стороны, имеется вторая система Σ_2 объектов — многообразие цветов; и в ней действуют некоторые соотношения R, R', \dots , которые следует сопоставлять с одноимёнными соотношениями для первой системы объектов, хотя, разумеется, они имеют совершенно иное интуитивное содержание. Помимо непрерывной связи, здесь имеется фундаментальное соотношение «Цвет C получается смешением цветов A и B »; поэтому давайте выражать его, немного странным образом, теми же словами, которые мы использовали в проективной геометрии: «Цвет C лежит на отрезке, соединяющем цвета A и B ». Если теперь элементы второй системы Σ_2 поставлены в соответствие элементам первой системы Σ_1 таким образом, что элементам системы Σ_1 , для которых выполняется, скажем, соотношение R или R' , всегда соответствуют элементы в Σ_2 , для которых удовлетворяется одноимённое соотношение, то обе системы объектов являются изоморфными представлениями друг друга.¹ В этом смысле проективная плоскость и континуум цветов изоморфны. Каждая теорема, верная в одной системе Σ_1 , без изменений переносится на другую систему Σ_2 . Наука может определить изучаемый ей предмет лишь с точностью до изоморфного представления. Идея изоморфизма указывает на очевидный и непреодолимый барьер, существующий для познания. Отсюда следует, что к «природе» своих объектов наука совершенно безразлична. *Узнать* эту природу — например, чем цвета отличаются от точек проективной плоскости — можно лишь в непосредственной живой интуиции. Но интуиция — это не состояние блаженного покоя, в котором можно пребывать вечно; она толкает нас к противоречиям и рискам, связанным с *познанием*. Однако было бы наивно ожидать, что познание может выявить — для интуиции — более глубокую природу, чем та, что открыта интуиции.

Эти несколько предварительные спекуляции были вызваны отсутствием сходства между физическими цветами и теми процессами, которые они запускают на сетчатке, а также гельмгольцевой

¹Если иметь в виду принятую сегодня математическую терминологию, то отображение (соответствие), удовлетворяющее данному условию, называют гомоморфизмом или просто морфизмом. Чтобы это отображение было изоморфизмом, дополнительно требуется, чтобы оно было взаимно однозначным. Трудно сказать, игнорирует ли здесь автор эту математическую деталь сознательно, упускает её из вида или использует термин «изоморфизм» в более широком смысле, чем это принято сегодня. — *Прим. ред.*

«знаковой теорией» ощущений, которую мы из него извлекли. Процессы, происходящие в сетчатке, вызывают возбуждения, которые передаются в мозг по зрительным нервам, возможно, в виде электрических токов. Даже здесь мы всё ещё находимся в сфере реального. Однако между физическими процессами, которые запускаются в конечном органе нервных проводников в головном мозге, и тем изображением, которое в результате возникает перед воспринимающим субъектом, зияет пропасть, которую не в силах преодолеть никакая реалистическая концепция мира. Это переход от сферы бытия к сфере возникающих изображений, или сознания. Здесь мы соприкасаемся с загадочной двойственной природой «я»: с одной стороны, я реально существующий индивидуум, совершающий реальные физические действия, — тёмный, мятущийся и ошибающийся человек, брошенный в мир и предоставленный своей собственной судьбе; с другой же стороны, я постигающий себя свет, интуитивное видение, в чьём сознании, которое заполнено образами и которое наделяет всё смыслом, открывается мир. Только в этом «соединении» сознания и бытия и существуем мы оба, мир и я.

Таким образом, от физико-физиологических рассмотрений этой первой лекции во второй мы переходим к критическим эпистемологическим размышлениям.

II. Мир и сознание

Мир существует не независимо, а лишь для нашего сознания. Эпистемологические соображения заставляют нас осознать, что такое свойство, как цвет, может быть дано лишь в сознании, в ощущении; не имеет смысла приписывать цвет самой вещи как свойство, оторванное от сознания. Это осмысление, с помощью которого в целом преодолевается наивный реализм, составляет начало всякого философствования. Оно противопоставляет эпистемологическую позицию идеализма позиции реализма, уча нас рассматривать непосредственные данные сознания как первичные, а мир объектов как вторичный.

Учение о субъективности качеств ощущения было связано с развитием науки с тех пор, как Демокрит (460—360 гг. до н. э.) выдвинул соответствующий принцип: «Лишь в общем мнении (πομοί) существует сладкое, в мнении — горькое, в мнении — тёплое, в мнении — холодное, в мнении — цвет, в действительности же (physei) существуют только атомы и пустота».

Прочитую ещё один дошедший до нас отрывок из Демокрита: «В самом деле, мы ничего непреложного не воспринимаем, но лишь нечто изменяющееся в зависимости от того, как организовано наше тело, от того, что к нему притекает, и от того, что реагирует на этот приток». Схожим образом высказывается и Платон в диалоге «Теэтет». Можно сослаться также и на Галилея:

Белое или красное, горькое или сладкое, звучащее или безмолвное, приятно или дурно пахнущее — всё это лишь названия для различных воздействий на наши органы чувств.

Среди философов эпохи Просвещения субъективный характер качеств ощущения в мельчайших деталях обсуждает Локк; его труд «О человеческом разумении» трактует этот вопрос в гл. VIII книги 2. Локку принадлежит классическое разделение на первичные и вторичные качества. Первичные — это протяжённость, форма (т. е. все геометрические свойства), движение и твёрдость; вторичные — это

такие качества, как цвета, звуки, вкусы и т. д., которые на деле не играют никакой роли в самих вещах, но представляют собой силы, вызывающие в нас различные ощущения первичными качествами вещей, т. е. объёмом, формой, строением и движением их незаметных частиц.¹

Локк убеждён в следующем:

Идеи первичных качеств тел сходны с ними, и их прообразы действительно существуют в самих телах, но идеи, вызываемые в нас вторичными качествами, вовсе не имеют сходства с телами. <...> И то, что является сладким, голубым или тёплым в идее, то в самих телах, которые мы так называем, есть только известный объём, форма и движение незаметных частиц.

Зачитаю вам начало § 18 той же главы:

Кусок манны заметного объёма может породить в нас идею круглой или квадратной формы, а при переходе с одного места на другое — идею движения. Эта идея представляет движение в движущейся манне таким, каким оно действительно есть; круг или квадрат — те же самые, находятся ли они в идее или в жизни, в уме или в манне; и движение и форма действительно находятся в манне, всё равно, обращаем мы внимание на них или нет. Каждый без труда согласится с этим. Но кроме того, объёмом, формой, строением и движением своих частиц манна

¹Здесь и далее цит. по изд.: Локк Дж. Сочинения в 3-х т. Т. 1. Опыт о человеческом разумении. М.: Мысль, 1985. Пер. А. Н. Савина.

способна вызвать в нас ощущения недомогания, а иногда и острой боли или рези. Что эти идеи недомогания и боли не находятся в манне, а есть результаты её воздействия на нас, которых нет нигде, когда мы их не чувствуем, с этим также без труда согласится всякий. А между тем трудно убедить людей, что белизна и сладость реально не находятся в манне, а что они только результаты воздействия манны на глаза и нёбо движением, расположением и формой её частиц, как вызываемые манной боль и недомогание есть, бесспорно, только результаты её воздействия на желудок и кишки расположением, движением и формой её незаметных частиц.

Это был Локк.

Наконец, позвольте мне процитировать Гоббса. Чтобы обосновать свою теорию «нереальности сознания», он ссылается на явление отражения в зеркале, как мы в начале первой лекции. Гоббс говорит о «великом обмане чувств, который, однако, может быть исправлен самими же чувствами», и формулирует свой тезис такими словами:

1. Предмет, которому присущи цвет и форма, не есть видимый объект, или видимая вещь.
2. В действительности вне нас не существует ничего из того, что мы называем цветом или формой.
3. Указанные форма или цвет суть лишь проявления того движения, возбуждения или изменения, которые объект производит в мозгу, в животных духах или во внутреннем веществе головы.¹

Как мы видели, идея чисто субъективной, имманентной природы качеств ощущения в истории всегда оказывалась сплетённой с научным учением о действительном порождении зрительных и других чувственных восприятий, о чём мы говорили ранее в первой лекции. Позиция Локка с различением первичных и вторичных качеств соответствует физике Галилея, Ньютона и Гюйгенса; ибо здесь все явления в мире выводятся как интуитивно постигаемые движения частиц в интуитивном пространстве. Следовательно, нам необходимо евклидово пространство как та неподвижная среда, в которой вычерчиваются траектории движения. Едва ли будет ошибкой утверждать, что данное философское учение было извлечено из этой физики или развивалось в тесной связи с её расцветом.

¹Здесь и далее цит. по изд.: Гоббс Т. Сочинения в 2-х т. Т. 1. М: Мысль, 1989. Пер. Я. Федорова, А. Гутермана.

Лейбниц, по-видимому, первым выдвинул более радикальную концепцию. «Что же касается тел, — говорит он, — то мы можем доказать, что не только свет, тепло, цвет и подобные им качества суть являющиеся, но и движение, и фигура, и протяжение». Позднее более или менее ту же позицию заняли Беркли и Юм. Осознание этого факта, которое далеко выходит за рамки учения Локка, нашло своё классическое выражение в «трансцендентальной эстетике» Канта; согласно Канту, пространство и время — это формы нашей интуиции:

Так как то, единственно в чём ощущения могут быть упорядочены и приведены в известную форму, само в свою очередь не может быть ощущением, то, хотя материя всех явлений дана нам только а posteriori, форма их целиком должна для них находиться готовой в нашей душе а priori и потому может рассматриваться отдельно от всякого ощущения.¹

Небезынтересно проследить историческое развитие, в конце концов приведшее к осознанию того факта, что объективный мир нельзя наделить даже пространством и временем, что они суть интуитивные формы нашего сознания; и понять, почему оно далось гораздо труднее, чем осознание субъективности чувств. Одна из основных причин состоит в том, что предложенное Локком разделение на первичные и вторичные качества насильственно подкреплялось процедурами естествознания, которое использовало пространственные и временные идеи как материал для построения своего объективного мира. Гоббс начинает свой трактат «О теле» с воображаемого разрушения всего мира; разум выстраивает мир заново из его фантомов, данных сознания. Затем следует априорная конструкция, которая вводит, к примеру, пространство как фантом чисто объективной сущности, независимой от разума. При переходе к фантомам качеств ощущения гоббсовская процедура меняет направление: их не нужно строить, мы обнаруживаем их в нашем разуме и пытаемся объяснить как результат «движений», происходящих во внешних объектах и наших органах чувств. На первый взгляд, это выглядит как шаг в направлении кантовской идеи пространства и времени, поскольку пространство вводится как то, что Гоббс называет фантомом, наряду с качествами ощущений. Но такой интерпретации противоречит догматичность, с которой он продвигает механистическую теорию мира, его утвер-

¹Цит. по изд.: Кант И. Критика чистого разума. М.: ЭКСМО, 2015. Пер. Н. Лосского.

ждение о том, что любая перемена в действительности сводится к движению, что действие может возникать лишь в результате давления или толкания и т. д. Так, в трактате Гоббса «О человеческой природе» мы, в полном согласии с локковским разделением на первичные и вторичные качества, читаем:

Какие бы свойства или качества наши чувства ни заставляли нас считать существующими в мире, они не принадлежат миру, будучи лишь чем-то кажущимся, видимостью; что действительно существует в мире без нас, — это те движения, которые вызывают эти видимости.

Декарт, будучи согласен с тем, что требовать сходства между явлением и его восприятием (к примеру, между звуковой волной и слышимой нотой) не более разумно, чем между вещью и её названием, всё же настаивает на том, что идеи, относящиеся к пространству, имеют объективную значимость. Почему? Потому, отвечает Декарт, что, в отличие от качеств, эти идеи мы сознаём ясно и отчётливо; а всё, что мы знаем таким образом, — как гласит фундаментальный принцип его эпистемологии — истинно. Чтобы обосновать этот принцип, Декарт ссылается на правдивость Бога, который не пытается нас обмануть. Очевидно, будучи приверженным принципу идеализма, но желая при этом построить реальный мир из некоторых элементов сознания, которые по той или иной причине представляются особенно заслуживающими доверия, обойтись без идеи такого Бога, гарантирующего истину, невозможно. «Мы видим, — заключает Георг Бюхнер, немецкий революционер и драматург 1830-х гг., написавший „Смерть Дантона“ и „Войцека“, — как ревностно Декарт измеряет могилу философии. Что и говорить, использовать милосердного Бога как лестницу, чтобы из неё выбраться, — идея странная. Попытка оказалась несколько наивной, и даже современники не позволили ему перелезть через край». Наконец, Даламбер оправдывает использование пространственно-временных понятий для построения объективного мира уже не их ясностью и отчётливостью, как Декарт, но скорее практическим успехом этого метода. Разумеется, если цвета — это волны эфира, порождённые игрой электронных движений, недопустимо представлять себе электроны как маленькие цветные шарики. Это обстоятельство весьма ясно показывает, что мы не в состоянии постичь электроны как интуитивно представимые тела в интуитивном пространстве.

Я не собираюсь распространяться о физиологических основах и психологическом устройстве нашей пространственной интуиции в таких подробностях, как в случае цветов. В том, что касается роли нашего зрения в этом процессе, основные шаги можно описать следующим образом. Во-первых, двумерное зрительное поле одного глаза в состоянии покоя; во-вторых, движения глаз, которые дают надёжный критерий идентичности двух фигур в этом зрительном поле; в-третьих, восприятие пространственной глубины как третьего измерения с помощью бинокулярного зрения, в результате чего образуется трёхмерное пространство с «я» в центре; в-четвёртых, переход к однородному пространству, в котором телесное «я» занимает своё место наравне с другими телами; последнее достигается возможностью подойти к отдалённому горизонту центрированного пространства, благодаря свободной мобильности нашего собственного тела в пространстве и нашей воле осуществлять такие движения. Лишь на этом последнем шаге я получаю возможность представить себя в положении другого человека, только это пространство можно мыслить как одинаковое для различных субъектов, это среда, необходимая для построения интерсубъектного мира. К зрительному полю присоединяются другие чувственные поля, как, например, поле, в котором можно локализовать тактильные впечатления и движения наших членов. Здесь я бы хотел остановиться чуть подробнее на двух моментах.

Первый вопрос: почему мы видим мир не вверх ногами? На сетчатке направление снизу вверх обращено по сравнению с внешним объектом; у нас в глазу все предметы стоят на голове. Почему мы видим их правильно? Казалось бы, обращающий эффект требует, чтобы все объекты стояли на головах, как папа Вильям.¹ Но эта загадка — всего лишь кажущаяся проблема. Объект и его изображение на сетчатке принадлежат тому же пространству, которое охватывает весь внешний мир; поэтому их можно сравнить и показать, что они обращены друг относительно друга. Но аналогичное сравнение этого реального пространства с пространством моей интуиции не имеет смысла; здесь мы, так сказать, находимся в разных мирах. Максимальная степень согласованности, которой можно требовать от соотношения между объектами и теми изображениями, что представляют их в моём сознании, заведомо не больше той, что

¹Отсылка к стихотворению из «Алисы в стране чудес» Л. Кэрролла. — Прим. перев.

даёт изоморфизм, т. е. сохранения всех пропорций длины. (К сожалению, даже это условие не выполняется.) Бесполезно ставить вопросы, которые имели бы смысл, только если объект и изображение существовали бы в одном и том же пространстве. Если вы до сих пор видите здесь какую-то трудность, вы ещё не преодолели привычки к односторонней реалистической интерпретации опыта.

Второй вопрос касается так называемых локальных знаков Лотце; под ними подразумеваются ощущения, качественно различающиеся в зависимости от положения в поле зрения и характеризующие это положение. Наличие таких ощущений было постулировано Лотце исходя из его психологического принципа, утверждающего, что наша душа способна непосредственно воспринимать и различать лишь качества ощущений и, в частности, что она постигает пространственную протяжённость на основе ощущений. Лотце, наряду с Гельмгольцем, А. Пуанкаре и другими, прилагает множество усилий к отысканию этих локальных знаков. Однако, на мой взгляд, сей принцип — не более чем предрассудок. Следует признать, следуя Канту и Фихте: исходно я наделён способностью не только к ощущениям, но и к интуиции. Вещь существует для меня лишь в нерасторжимом единстве ощущения и интуиции, в силу того, что континуум качеств покрывает (пространственно-временной) континуум протяжённости. Постигание *что* («здесь и сейчас») и *как* — это общая форма сознания. Пространство как форму интуиции едва ли можно описать более поучительно, чем словами Фихте:

Освещённое, прозрачное, пронизываемое пространство, чистейший образ моего знания, невидимо, но созерцаемо, и в нём созерцается само моё зрение. Свет не вне меня, но во мне, и я сам есть свет.

Моё утверждение о том, что цвет по самой своей природе может быть найден лишь в ощущении, не подразумевает, что цвет — это особое качество, свойственное ощущению. Вернее было бы сказать, что это не действительная компонента самого ощущения, но скорее сущность, относящаяся к интенциональному объекту, которая предстаёт моему сознанию в акте восприятия. Понятно, что восприятие помещает воспринимаемый объект передо мной; эта интенциональность есть ключевое свойство сознательных действий, совершенно независимо от того, считаем ли мы этот объект реально существующим и действительно ли эта реальная вещь обладает теми свойствами, на которые указывают воспринимаемые качества. Я обладаю этим восприятием, я в нём живу. Воспринимаю я не своё

восприятие, а скорее его интенциональный объект. Само же восприятие есть не объект, но действие. Однако факт, причём факт огромной важности для структуры сознания, состоит в том, что я способен интроспективно ощутить своё восприятие. Я, так сказать, расщепляюсь на две части и вглядываюсь глазами разума в свою собственную воспринимающую деятельность. Данный процесс рефлексии превращает само восприятие в объект нового акта — акта представления, или интроспективного восприятия. Но, опять же, я обладаю этим новым, направленным внутрь восприятием — в него погружена моя жизнь, — которое соотносится с первым восприятием, имея его своим интенциональным объектом.

Полный акт восприятия всегда насыщен определёнными умственными интерпретациями, которые играют роль своего рода оживляющего и объединяющего фактора применительно к чисто чувственным данным. Мы сталкиваемся с этим, например, в случае пространственного зрения, когда интерпретация плоской фигуры, явленной глазу, с точки зрения перспективы внезапно меняется.

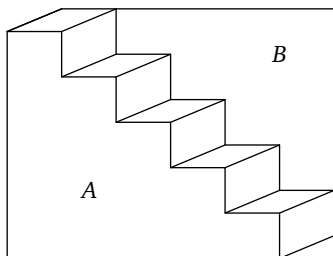


Рис. 10. Неоднозначная интерпретация перспективы

Я покажу вам рисунок, интерпретация которого с точки зрения перспективы неоднозначна. На первый взгляд, это (рис. 10) лестница, ведущая вниз слева направо, со стеной *A* на переднем плане и стеной *B* на заднем. Однако, сконцентрировавшись на этом рисунке, вы сможете заставить его измениться так, чтобы представлять теперь вид лестницы снизу; лестница ведёт вверх справа налево, и стена *B*, прежде находившаяся сзади, теперь находится на переднем плане. Попробуйте заставить обе интерпретации поочередно сменять друг друга.

Другой пример: Солнце в 150,000 раз ярче полной Луны; как следствие, белая бумага в лунном свете выглядит темнее, чем чёр-

ный бархат в солнечном; тем не менее мы воспринимаем бумагу как белую, а не чёрную, и в лунном, и в солнечном свете.

Как итоговое восприятие, полученное в результате подобной витализации чувственных данных, так и тот способ, которым они осуществляют свою представляющую функцию и помещают передо мной вещь в её конкретном воплощении, без сомнения, определяются огромной массой предыдущего опыта. Сознание реагирует как единое целое, а не просто мозаика, составленная из ощущений; напротив, эти так называемые чувственные данные суть последующая абстракция. Утверждение о том, что лишь они актуально даны, а всё остальное вторично, не есть аккуратное описание того, что нам дано, во всей его сложности, скорее это реалистическая теория, возникающая из реалистического убеждения, что «только ощущения *могут* быть действительно даны». Тем не менее, можно верить в то, что из таких элементов, называемых чистыми ощущениями, подсознательно сплетается целая картина; Гельмгольц в этой связи говорит о подсознательных заключениях. Я хочу лишь подчеркнуть, что такие гипотезы относятся к психической реальности, к сфере бытия, а не к изображению и сознанию. Они трактуют умственные явления как частную область реального мира, которую следует изучать научными методами, с помощью экспериментов, категорий типа причинности и т. п., как это самым решительным образом делают психоаналитики.

Но оставим эти эпистемологические тонкости, сам источник которых есть тот поразительный факт, что сознание, которое всегда есть я сам, в то же время предстаёт и лишённым своей имманентности как душа отдельного человека в реальном мире! Обратимся к последствиям этой субъективности пространства и времени для научного метода. Осознание субъективного характера качеств ощущения заставило науку отказаться от использования их в качестве строительного материала для построения объективной вселенной, заменив их пространственно-временными понятиями. Чтобы быть последовательными, теперь, стремясь к той же цели, мы вынуждены отбросить и идеи пространства и времени. Как это сделать, как избавиться от пространства и времени, рассуждая об объективном мире? На первый взгляд, это кажется совершенно невозможным. Однако этого можно добиться, грубо говоря, заменив пространственные точки их координатами. Если следовать данной схеме, геометрические понятия превращаются в арифметические; ибо координаты — это числа! В качестве среды, в которой физика фор-

мирует внешний мир, наше перцептивное пространство и время заменяется четырёхмерным континуумом в абстрактном математическом смысле. Цвет, который для Гюйгенса «в действительности» был колебанием эфира, теперь предстаёт как математический закон, в соответствии с которым численные значения некоторой величины, называемой напряжённостью электромагнитного поля, зависят от четырёх переменных, или координат, задающих возможные пространственно-временные положения.

Теперь очевидно, что слова «в действительности» мы должны заключить в кавычки; что объективный мир, который мы хотим видеть в основании наших непосредственных восприятий, — это лишь символическая конструкция. По крайней мере, человеческое знание не в состоянии представить его иначе. Не на это ли намекает Гераклит в завещанном нам афоризме?

Владыка, чей оракул — в Дельфах, не говорит и не утаивает, но подаёт знаки.

Следует признать, что лишь в теории относительности наука до конца осознала тот факт, что пространство и время, знакомые нам из интуиции, не могут составлять фундамент для построения мира. Образованные люди сегодня полностью свыклись с мыслью, что качества ощущений в физике не проявляются как таковые, а заменяются движениями в пространстве и времени, звуковыми или эфирными волнами, колебаниями струн или электрических токов. Но человек с улицы все ещё не постиг необходимости отказаться даже от пространства и времени; он не может не представлять себе эти физические явления как интуитивные движения в интуитивном пространстве. В этом заключается главное препятствие, не дающее простому человеку до конца понять теорию относительности. Тщетна надежда, что мне удастся преодолеть это препятствие менее чем за час, но я попытаюсь сделать всё, что в моих силах.

Построение символического представления вселенной из непосредственно доступных нам данных осуществляется в несколько шагов; переход от шага к шагу необходим в силу того, что объекты, доступные нам на данном шаге, суть проявления реальности высшего порядка — реальности следующего шага. Типичный пример — способ, которым форма твёрдого тела восстанавливается как общий источник нескольких его перспективных изображений. Для этого необходимо, чтобы точка, с которой получается изображение, могла меняться, и чтобы действительно использованные точки зрения

представляли собой сечения бесконечного континуума возможно-стей, скрытых внутри нас. О категории возможности в этой связи я буду говорить подробнее в следующей лекции. Однако в систематическом научном изложении порядок в конце концов окажется обратным: сначала мы воздвигаем символический мир сам по себе, вне всякой связи, а затем, пропуская все промежуточные шаги, пытаемся описать, какие символические конфигурации приводят к каким данным сознания. Поясним эту процедуру на одном примере. Если напряжённость электрического поля зависит от пространственно-временных координат определённым математически заданным образом, и если глаз, который бодрствует и видит, и который есть я сам, находится в этом поле, то возникает ощущение жёлтого цвета. Конечно, существование глаза должно быть описано здесь тем же объективным символическим образом, что и световая волна (это достаточно сложная задача, которая требует сведения всей физиологии к физике). С другой стороны, при переходе от трансцендентной сферы объектов к имманентному сознанию, дальнейшее предположение, что я есть живой глаз, не менее существенно; ибо видение может быть только видением для меня. Это так, сколь бы яростно вы не протестовали; но, конечно, я никому не мешаю убедиться в этом самостоятельно. Ещё один довольно тривиальный пример опять даёт перспектива. Раньше твёрдое тело воссоздавалось исходя из его перспективных изображений; теперь мы идём в обратном направлении и описываем, как, имея твёрдое тело, найти его двумерное изображение относительно произвольно заданной точки зрения; это делает геометрическое учение о перспективе.

В качестве дальнейшего примера, относящегося к более высоким стадиям, можно упомянуть введение понятия электрического поля и его напряжённости. Мы обнаруживаем, что в пространстве между заряженными проводниками маленькое заряженное «пробное тело» в каждой точке P испытывает воздействие некоторой силы $K = K(P)$ определённой величины и направления; причём эта сила одинакова каждый раз, когда я помещаю пробное тело в одну и ту же точку P . Изменяя пробное тело, которое, так сказать, играет здесь роль наблюдателя, мы выясняем, что сила $K(P)$ зависит от него, но таким образом, что её величина распадается в произведение двух сомножителей:

$$K(P) = e \cdot E(P).$$

Второй сомножитель, напряжённость электрического поля $[E(P)]$, — это функция точки, не зависящая от состояния пробного тела; а первый сомножитель, заряд пробного тела $[e]$, — это число, зависящее только от этого состояния, но не от проводников и их расположения. Здесь мы считаем, что сила K нам дана. Изложенные факты приводят нас к идее электрического поля, описываемого функцией точки $E(P)$ и окружающего проводники независимо от того, наблюдаем ли мы его воздействие на пробное тело или нет. Пробное тело служит лишь для того, чтобы сделать поле наблюдаемым и измеряемым. Таким образом, видна полная аналогия со случаем перспективы: поле E здесь соответствует объекту, пробное тело — наблюдателю, его заряд — положению наблюдателя; сила, с которой поле действует на пробное тело и которая меняется с его зарядом, соответствует двумерной проекции, которую твёрдый объект демонстрирует наблюдателю и которая зависит от его положения. Теперь уравнение $K = eE$ следует воспринимать не как определение величины E , но как закон Природы (возможно, требующий уточнения), описывающий механическое воздействие, которое данное электрическое поле E оказывает на точечный заряд в данной точке P . Поскольку, согласно теории Максвелла, свет есть не что иное, как быстро изменяющееся электромагнитное поле, наш глаз — это орган чувств, способный наблюдать некоторые электрические поля не только в силу их пондеромоторных воздействий. В систематическом же изложении следует ввести напряжённость электрического поля E чисто символически без каких-либо объяснений, а затем выписать законы, которым она удовлетворяет, вместе с законами, задающими её пондеромоторную силу. Рассматривая силы как нечто, поддающееся непосредственной проверке, мы тем самым привязываем наши символы к действительному опыту.

Аналитическая геометрия, основанная Декартом, — это средство, позволяющее исключить интуитивное пространство из конструктивной физики. Если на плоскости выбрана некоторая система координат, то каждую точку можно задать и представить двумя её координатами x, y , т. е. полностью числовым символом (x, y) , например $(\frac{3}{2}, \frac{4}{9})$. Тот факт, что несколько точек (x, y) лежат на одной прямой, выражается линейным уравнением

$$ax + by + c = 0, \quad \text{например} \quad 2x - y + 5 = 0,$$

которому удовлетворяют числовые символы (x, y) всех этих точек. Равенство двух расстояний $P_1P_2, P'_1P'_2$ выражается равенством соот-

ветствующих чисел

$$(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2, \quad (x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2.$$

Таким образом все геометрические соотношения находят своё арифметико-логическое представление. Если символический язык ньютоновской физики, в терминах которого она притязала на описание всего мира, был взят из интуитивного пространства, то теперь эта роль перешла к арифметике. Когда дело доходит до окончательного систематического изложения, промежуточная стадия пространственной интерпретации может быть опущена. Только впоследствии, когда уже установлена связь между символами и непосредственным опытом нашего сознания, следует говорить о восприятии интуитивного пространства или о звуках и цветах — но скорее относя их к сознанию, чем к объективному миру.

Распространение плоской монохроматической световой волны с частотой ν и интенсивностью a^2 описывается арифметическим выражением

$$\text{напряжённость электрического поля } E = a \cdot \cos \nu \left(t - \frac{x}{c} \right),$$

содержащим временные и пространственные координаты $t; x, y, z$ в качестве аргументов (c — это постоянная скорость света). Мы не обязаны педантично говорить лишь на этом «арифметическом» языке, категорически избегая всех терминов, отсылающих к идеям пространства и качеств ощущения. Однако, в принципе, следует придерживаться той точки зрения, что интуитивное содержание и суть этих терминов никакой своей частью не входит в систематическое символическое построение физического мира!

Генрих Герц — тот самый физик, который впервые показал, как создавать и исследовать электрические волны, — описывает данную процедуру во введении к своему посмертно опубликованному труду по механике так:

Мы создаём себе внутренние образы или символы внешних предметов, и создаём мы их такими, чтоб логически необходимые последствия этих образов были всегда образами естественно необходимых последствий изображённых в них предметов. Для того, чтобы исполнение этого требования было вообще возможно, должно существовать известное согласие между природой и нашим духом. Из опыта мы знаем, что требование это вообще осуществимо и что такое согласие, следовательно, на самом деле существует. Раз нам удалось из накопленного до сих пор опыта вывести образы требуемого характера, то мы можем уже из них,

как из моделей, в короткое время вывести те последствия, которые наступят во внешнем мире лишь гораздо позже, без нашего содействия или как последствия собственного нашего вмешательства в ход вещей; так, мы можем предварять факты и решения наши в настоящем соотносить с достигнутым нами познанием. Образы, о которых мы говорим, суть наши представления о вещах; они имеют одно общее с вещами существенное свойство, которое заключается в исполнении названного требования, но для исполнимости этого требования вовсе не необходимо, чтобы они имели ещё что-нибудь общее с вещами. В действительности мы и не знаем и у нас нет никаких средств узнать, имеют ли наши представления о вещах ещё что-нибудь общее с последними, кроме того одного основного свойства.¹

Учение, о котором мы здесь говорим, стали называть теорией соответствия нашего знания реальности. Его красноречивым популяризатором в связи с теорией относительности является М. Шлик. Между реальным миром и моим непосредственным опытом имеется соответствие, настоящее представление в математическом смысле. Правда, это верно лишь *cum grano salis*, пока мы действительно ограничиваемся опытом, данным напрямую. Ибо единичное сознание отражает лишь малую часть мира и, кроме того, если быть точным, нам дано лишь то, что дано в этот момент; надёжность воспоминаний уже представляет собой проблему, выходящую за рамки чисто имманентного. Следовательно, упомянутое соответствие имеет место не между реальным миром и действительными восприятиями наблюдателя: с одной стороны находится количественно заданный объективный мир, как он представлен нашими символами, а с другой — все *возможные* восприятия, соответствующие всем возможным объективным состояниям наблюдателя; к примеру, такие величины, как положение и скорость наблюдателя, принадлежат этому произвольно изменяемому элементу внутри соответствия. Здесь мы вновь приходим к контрасту между уникальным фиксированным бытием объективного мира и свободой наблюдателя, ранее проиллюстрированному на примере перспективы. В практической физике эта свобода проявляется в том, что экспериментатор произвольно выбирает и варьирует условия своих наблюдений.

Что заставляет нас соотносить наш непосредственный опыт с объективным символическим миром? Изначально, вне сомнения,

¹Цит. по изд.: Новые идеи в философии. Репринтное издание под ред. С. А. Богданчикова. Сборник 11. Теория познания и точные науки. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2014.

это наша *вера* в истинность воспоминаний, в реальность «я», «ты» и мира, в котором мы живём; эта вера уходит корнями в самую глубь человека и неразрывно связана с самим его бытием — тем знающим, действующим, интересующимся бытием, которое столь кардинально отличается от бытия вещей! В науке мировоззренческое различие между реализмом и идеализмом отражается в двух не противоречащих друг другу методологических принципах. Наука действует реалистически, когда строит объективный мир в соответствии с требованием, которое мы выдвинули ранее вместе с Гельмгольцем, что объективная конфигурация должна содержать все факторы, необходимые для объяснения субъективных видимостей: никакого разнообразия в опыте, не имеющего оснований в соответствующем объективном разнообразии. С другой стороны, наука делает уступку идеализму, считая, что этот её объективный мир нам не дан, а лишь предложен (как задача, которую нужно решить), и что его можно построить лишь с помощью символов. Но самым явным проявлением фундаментальной концепции идеализма является обращение вышеупомянутого принципа: объективная картина мира не должна допускать никакого разнообразия, которое нельзя заставить проявиться в разнообразии восприятия. На самом деле, может так случиться, что различные явления производят на меня одно и то же впечатление; однако зачастую этот эффект исчезает, если изменять состояние наблюдателя всеми возможными способами. Конечно, многие физически различные цвета могут вызвать полностью одинаковое ощущение красного. Но если пропустить их через одну и ту же призму, физическое различие начинает проявляться в ощутимом различии цветового спектра за призмой. Призма, так сказать, вскрывает скрытое разнообразие и заставляет его проявиться для восприятия. Но различие, которое никак нельзя сделать доступным восприятию, не допускается. Это чрезвычайно важный принцип. Признав, что те фундаментальные опыты, которые лежат в основании теории относительности, демонстрируют невозможность проверки одновременности событий так, чтобы она не зависела от движения наблюдателя и удовлетворяла некоторым условиям, которые принято требовать от этого понятия, — признав это, вы должны заключить, что подобная одновременность отсутствует в структуре мира. И если она входила в нашу предыдущую теоретическую конструкцию мира, её следует исключить отсюда как избыточный элемент. Именно это сделал Эйнштейн.

В последних рассуждениях мы уже перешли от тематики этой второй лекции, посвящённой эпистемологии, к предмету следующей лекции, в центре которой будет находиться научная методология.

III. Конструктивный характер научных понятий и теорий

В. Дильтей, в своём очерке «Автономия мышления в XVII веке», опубликованном во втором томе собрания сочинений, даёт набросок развития механики до Галилея. «Затем явился Галилей, — продолжает он. — С ним после более чем двухтысячного периода описания и наблюдения над формой природы, получивших завершение в образе мира у Коперника, наступила стадия подлинного анализа природы».¹ Ключевая черта анализа — выделение простых явлений из сложного переплетения событий, рассечение единого хода вещей на простые и повторяющиеся элементы. Ещё Бэкон выдвинул формулу *dissecare naturam*. «Только математикам удалось найти некоторые доказательства, т. е. некоторые точные и очевидные соображения, — говорит Декарт, — поскольку они начинали с простейшего и легко познаваемого». Могущество науки в немалой степени объясняется тем, что она не пыталась разработать «систему Природы» одним махом, а с бесконечным терпением опускалась до мелких частных вопросов, непрерывно подвергая их анализу. Правда, сам Декарт всё ещё сильно грешил против своего собственного методологического замечания. Превосходство Галилея над Декартом в естественных науках отчасти коренится в вышеупомянутом самоограничении и чувстве меры, к соблюдению которого он относится со всей серьёзностью и в котором «мастерство приметно»². Прекрасной иллюстрацией служит изучение Галилеем законов падения тел.

Это рассечение естественного хода вещей на простые повторяющиеся элементы я буду обсуждать лишь в той степени, в которой оно связано с другой фундаментальной чертой научных понятий, а именно с их неявным характером. Мы не можем наблюдать инертную массу тела так же, как его цвет; эту массу можно установить, лишь подвергая тело взаимодействиям с другими телами. Следова-

¹Здесь и далее цит. по изд.: Дильтей В. Воззрение на мир и исследование человека со времен Возрождения и Реформации. М.: Университетская книга, 2000. Пер. М. Левинной.

²Имеется в виду строчка «Лишь в чувстве меры мастерство приметно» из сонета И. В. Гёте (пер. М. Розанова).

тельно, в процессе рассеечения мы не воздерживаемся от введения «скрытых», или, если угодно, мнимых элементов. Чтобы сохранить верность принципу, гласящему, что одни и те же причины при одних и тех же условиях вызывают одни и те же следствия, мы интерпретируем простой белый свет как спектральную смесь физических цветов; и приписываем скрытые различия двум цветам, которые глаз воспринимает как один и тот же белый цвет, поскольку их можно различить с помощью взаимодействий, например, пропускаемая через призму. Но свет, обладающий данным конкретным спектральным цветом и данной интенсивностью, оказывается физически простым, потому что эти атрибуты полностью определяют его поведение в любых условиях.

Думаю, лучше всего пояснить мою мысль на конкретном примере исключительной важности, относящемся к начальному этапу развития науки, а именно, посмотреть, как Галилей вводит понятие массы. Он далеко не столь наивен, чтобы удовлетвориться словесным и совершенно бесплодным объяснением: масса тела = количество его вещества. Галилей рассматривает массу в её динамической функции. Поэтому он возводит её к понятию импульса, или количества движения. Телу, которое, не испытывая воздействия извне, движется по прямой с постоянной скоростью v , можно приписать импульс I определённой величины и направления. Последнее совпадает с направлением скорости v . Инертная масса m — это коэффициент, на который следует домножить v , чтобы получить I , т. е. $I = m \cdot v$. Но что такое импульс, или, говоря на честном физическом языке, как измерить импульс? На этот вопрос Галилей отвечает не определением, а законом природы — законом сохранения импульса. Закон утверждает следующее: при взаимодействии нескольких тел сумма их импульсов до и после взаимодействия одинакова (предполагается, что и до, и после взаимодействия каждое тело изолировано от воздействий извне). Применяя этот закон к взаимодействиям, столкновениям тел, мы получаем средство для эмпирического определения их относительных масс.

Например, два тела, которые движутся с одинаковой скоростью в противоположных направлениях, сталкиваются, а после столкновения слипаются друг с другом, обладают одинаковой массой, если после столкновения они прекращают движение. Мы приписываем телу массу как внутреннюю характеристику независимо от того, осуществляем ли мы подобное взаимодействие для её измерения, а опираясь лишь на возможность его осуществления. Тем самым

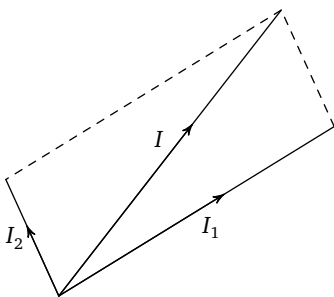


Рис. 11. Сложение импульсов

мы совершаем один очень важный шаг: после того, как материя была лишена всех своих чувственных качеств, поначалу казалось, что наука разрешает приписывать ей лишь геометрические атрибуты; Декарт очень последователен в этом отношении; но теперь мы видим, что из движения материи и его изменения в ходе взаимодействий, подчиняющихся определённым законам, можно вывести и другие её численные характеристики. Именно этот метод *неявных свойств* открывает для нас область собственно механических и физических понятий, выходящих за рамки геометрии и кинематики. Подобные неявные определения принципиально связаны с некоторыми законами природы, такими как закон сохранения импульса в нашем случае. Следовательно, соответствующие законы возникают наполовину как выражения эмпирического опыта, а наполовину как постулаты; отделить друг от друга эти два аспекта невозможно. Косвенное определение величин возможно лишь на основе теории.

Эти соображения также отвечают на вопрос о том, как можно определить значение величины гораздо точнее, чем это позволяет чувственное восприятие. Рассмотрим колеблющийся маятник. Непосредственным наблюдением мы можем установить, что длительность одного колебания составляет 1 с с точностью до $\pm 0,1$ с. Трюк, с помощью которого удаётся достичь большей точности, весьма прост: мы ждём, пока произойдёт, скажем, 1000 колебаний, устанавливаем, что их суммарная длительность равна 1053,4 с с той же точностью $\pm 0,1$ с, откуда заключаем, что одно колебание длится 1,0534 с; точность увеличилась в 1000 раз. Однако это вычисление опирается на некое теоретическое предположение, а именно, что длительность всех колебаний одинакова. Данное предположение,

как и полученный косвенным образом вывод относительно длительности одного колебания, не имеет смысла для интуициониста, который соблюдает пределы интуитивной точности и не позволит ей увеличиться тысячекратно. И всё же есть способ эту гипотезу некоторым образом проверить, убедившись, что длительность m последовательных колебаний относится к длительности n колебаний как m к n (где m и n — большие целые числа) — разумеется, всё с той же погрешностью $\pm 0,1$ с. В общем случае дело обстоит так: используя точные законы теории, взятой за основу, мы ставим величину x , подлежащую определению, в функциональную зависимость от ряда других величин. Наблюдая эти величины, можно делать выводы относительно значения величины x , что позволяет нам определить его точнее, чем с помощью непосредственного наблюдения (если таковое вообще возможно). Применяемая теория состоятельна, если с точностью до ожидаемой ошибки все косвенные методы определения величины x дают один и тот же результат.

Таким образом, из наших рассмотрений следует, что «правильная» теория хода вещей в мире должна удовлетворять следующим требованиям.

1. *Согласованность*. Если x — величина, входящая в нашу теорию, то значение, которое следует приписать ей в данном конкретном случае, определяется с помощью теоретически установленных связей и контактов между символической теорией и непосредственным опытом. Все такие определения должны давать один и тот же результат. Так, все методы определения заряда e электрона, сочетающие наблюдения с законами, которые установлены нашими физическими теориями, дают одно и то же значение (в пределах точности наблюдения). Часто сравнивают результаты (относительно) прямого наблюдения рассматриваемой величины (к примеру, положения кометы по отношению к звёздам в определённый момент) с результатами вычислений на основе других наблюдений (скажем, текущего положения кометы, вычисленного с помощью теории Ньютона, исходя из наблюдений за её положением на протяжении нескольких последовательных дней месяц назад). Условие согласованности включает в себя требование *непротиворечивости* теории, но им не ограничивается, ибо ставит теорию в соприкосновение с опытом.

2. Мы должны всегда иметь принципиальную возможность определить значение величины x , входящей в нашу теорию, в данном конкретном случае на основе эмпирических данных. Иными слова-

ми, теория не должна содержать элементов, избыточных для описания наблюдаемых явлений.

Поскольку научное познание есть не точное описание того, что дано, а скорее теоретическая конструкция, её отдельные утверждения не обладают содержанием, поддающимся интуитивной проверке; их истинность отсылает к связной системе, которую можно сопоставить с опытом лишь целиком. Смысл, который слово «истина» имеет в Науке, являет собой некоторую проблему с точки зрения эпистемологии и сильно отличается от смысла этого слова применительно к суждениям, просто констатирующим факт в таком виде, как он дан нам интуитивно, подобно, например, следующему предложению: эта доска, как я её воспринимаю (внимание! я не говорю о реально существующей доске), обладает вот этим чёрным цветом, который дан мне в том же наблюдении. В качестве примера я хотел бы привести теорию электромагнитных явлений; но я несколько упрощу дело, поскольку это можно сделать без серьёзного ущерба, считая скорость распространения электромагнитных возмущений бесконечной (в то время как на самом деле она совпадает со скоростью света). Мы предполагаем существование частиц — «электронов», элементарных квантов материи, — наделённых неизменными массами и зарядами. Положения и скорости этих электронов в момент времени t полностью задают, согласно некоторым законам, магнитное поле. Другие законы связывают это поле с распределением в пространстве импульса и энергии; поток импульса определяет пондеромоторную силу, с которой поле действует на порождающие его частицы. Наконец, эта сила, согласно фундаментальному закону механики, вызывает ускорение электронов; скорость и ускорение частицы — это скорость изменения её положения и скорости соответственно за бесконечно малый промежуток времени dt , а значит, положение и скорость в момент $t + dt$ в конце концов определяются их значениями в момент t . Многократно повторяя этот дифференциальный переход $t \rightarrow t + dt$ при помощи интегрирования, мы получаем полное описание движения. Только эта целая связная теория, в ткань которой фактически вплетена также и геометрия, подлежит экспериментальной проверке — если мы для простоты примем предположение (всё ещё довольно далёкое от истины), что движение электронов можно наблюдать непосредственно. Отдельно взятый закон, изолированный от этой теоретической структуры, просто повисает в воздухе. Таким образом, все части физики и геометрии в конце концов сливаются в одно нерасторжимое единство.

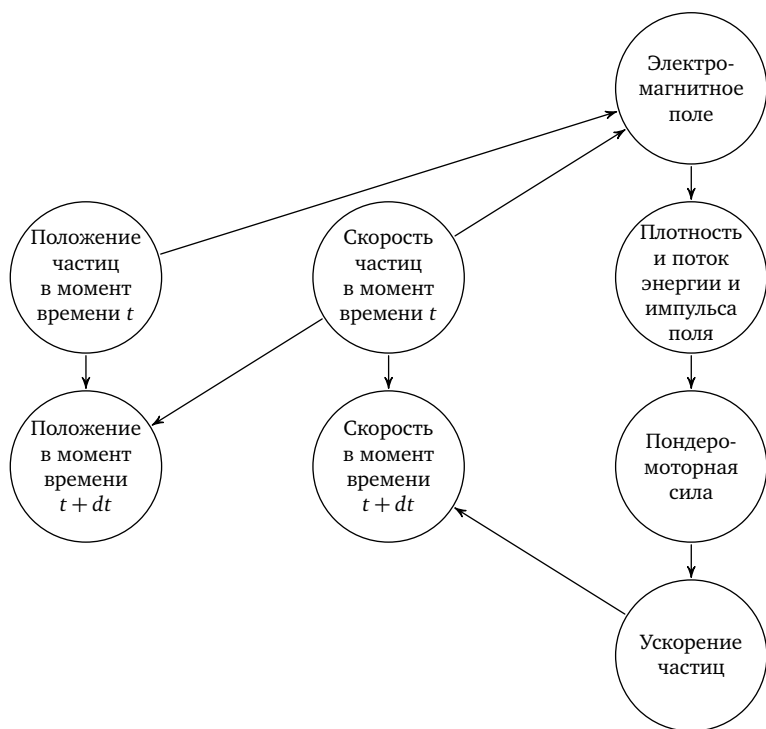


Рис. 12. Как законы природы задают движение элементарных частиц

Поэтому оказывается, что более подробные и точные опыты и новые открытия не ниспровергают старые теории, а лишь вносят в них поправки. Ищется наименьшее возможное изменение в исторически выработанной теории, которое позволяет объяснить новые факты. Теория планетарных орбит Кеплера и Ньютона опиралась на данные наблюдений, полученные при неявном предположении, что все события одновременны с их наблюдением. Однако затем Рёмер обнаружил конечность скорости распространения света. На самом деле он сделал этот вывод из наблюдаемого отклонения лун Юпитера от их теоретически предсказанных орбит. При построении теории (теории планетарных орбит) мгновенность распространения света используется как гипотеза. Впоследствии более точные наблюдения с этой гипотезой не согласуются; чтобы сохранить теорию ради её убедительной простоты, следует изменить гипотезу. Таким образом, приближённая истинность гипотезы приводит к об-

наружению её мелкой неточности и внесению необходимой поправки. Но без предположения о приближённой истинности невозможно сделать даже первый шаг.

Если некоторый факт не согласуется со всем теоретическим арсеналом науки, гений и такт исследователя должны помочь ему найти слабейшую точку теории, которую уместнее всего изменить, чтобы принять в расчёт новые факты. Едва ли здесь можно сформулировать какие-либо общие правила, как и в отношении того веса, который следует придавать нескольким фактам (которые мы знаем или думаем, что знаем) с целью их теоретической интерпретации. Общая теория относительности появилась после того, как Эйнштейн осознал фундаментальный характер и странную достоверность пропорциональности между весом и инертной массой. Нельзя отмахнуться от возможности существования различных конструкций, объясняющих результаты наблюдений. В признании этой неоднозначности истины Гоббс и Даламбер предвосхитили современных позитивистов. В поздравительном обращении к Планку в 1918 г. Эйнштейн весьма точно описывает существующую эпистемологическую ситуацию следующим образом:

История показала, что из всех мыслимых построений в данный момент только одно оказывается преобладающим. Никто из тех, кто действительно углублялся в предмет, не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведёт от наблюдений к основным принципам теории.¹

В этом отношении ключевую роль играет регулятивный принцип простоты. Но воздержимся от углубления в эту новую важную тему.

Вместо этого я хочу обратить ваше внимание на другой вопрос. Помимо неявного характера физических понятий, ещё одно их свойство достойно рассмотрения: они представляют собой конструкции в свободном поле возможностей. Если не ошибаюсь, говорят о *количественном* анализе природы, именно по этой причине. Невозможность составить картину реальности иначе как на основе возможности, по-видимому, объясняется тем, что существование — это проникновение в «что» и «как», а значит, оно возникает из соприкосновения объекта и субъекта, чистой действительности и свободы. Так, наш четырёхмерный континуум пространства и вре-

¹Цит. по изд.: Эйнштейн А. Физика и реальность. М.: Наука, 1965.

мени есть поле априори возможных совпадений событий. В самом деле, пространство и время сами по себе — ничто, они суть лишь определённый порядок действительности, существующей и происходящей в них. Одна пространственная точка, взятая сама по себе, не отличается от любой другой. Поэтому утверждение о том, что данное тело находится в таком-то положении, не имеет содержания, доступного объективному осознанию, если не указать прямую «это положение здесь». Два утверждения «Тело A находится в положении α » и «Тело B также находится в положении α » в качестве объективной части содержат лишь одно утверждение: «Тело A совпадает с телом B ». Эйнштейн подчёркивает тот факт, что результаты всех физических измерений утверждают некое совпадение, например, что данная стрелка совпадает с данной отметкой на шкале. Однако мы не можем ограничиться констатацией конкретных реально происходящих совпадений — нам необходимо скорее поле возможных совпадений, открытое нашей свободной математической конструкции. Я вернусь к этому вопросу, когда буду говорить о теории относительности. Поэтому Лейбниц называет пространство «порядком всех возможных расположений вещей» и добавляет: «Следовательно, это нечто идеальное». Таким образом, Лейбниц первым осознал субъективность нашей интуиции пространства.

Описать законы природы можно, лишь противопоставляя то, что объективно дано раз и навсегда, чему-то свободно изменяемому, а затем выделяя такие элементы — «инварианты», — которые не подвержены воздействию этих изменений. Примером может служить так называемый закон постоянства скорости света. Его название весьма неудачно. Данное конкретное положение в пространстве-времени, или мировая точка, — это здесь и сейчас, которое можно отметить вспышкой света, возникающей и мгновенно гаснущей вновь. Такие точки образуют, как мы говорили ранее, четырёхмерный континуум. Рассмотрим многообразие всех мировых точек, которых достигает световой сигнал, посланный из данной мировой точки O ; его можно назвать световым конусом с вершиной в точке O . Теперь закон постоянства скорости света утверждает просто-напросто, что этот световой конус не зависит от состояния и, в частности, движения источника света, посылающего световой сигнал, проходящий через точку O . Правда, этот световой конус, согласно общей теории относительности, зависит от распределения материи в мире и её физического состояния. Но источник све-

та — как нечто, свободно изменяющееся, — противопоставляется здесь фиксированному объективному материальному содержанию мира.

Мы пытаемся указать расстояние от Солнца до Земли в футах. Подобное утверждение имело бы смысл, поддающийся проверке при существующем положении дел, только при наличии жёсткого шеста, простирающегося от Земли до Солнца, с отметками, нанесёнными с помощью движущейся измерительной линейки. Но такой жёсткий шест в действительности не существует, измерение при помощи линейки на самом деле не проводилось; мы лишь воображаем, что всё это можно было бы проделать. Следовательно, геометрические утверждения — это идеальные заключения, отсылающие просто к возможности измерений; взятые сами по себе, они не имеют смысла, проявляющегося в конкретных фактах. Сеть идеальных заключений соприкасается с экспериментальной реальностью лишь в отдельных местах, и в этих местах следует проверять их согласие. В любом случае, анализ — рассечение на «элементы» — следует довести до того, чтобы каждый элемент во всей полноте конкретности задавался определённым значением величины, изменяющейся в диапазоне возможностей, который поддаётся контролю, будучи продуктом свободной конструкции. Плоская световая волна, к примеру, полностью задаётся своим направлением, частотой и интенсивностью, причём каждая из этих величин изменяется в пределах континуума возможностей, с которым удобно работать, используя математическое понятия числа. Вообще, ряд целых чисел и континуум вещественных чисел — наиболее выдающиеся примеры такого бесконечного поля свободно конструируемых возможностей.

В физике мы не описываем апостериори то, что встречается в действительности, по аналогии с классификацией растений, реально встречающихся на Земле, но применяем априорную конструкцию возможного, в которую актуальное вкладывается исходя из значений некоторых атрибутов, определяемых неявным образом с помощью взаимодействий. «Благодаря великим открытиям Коперника, Кеплера и Галилея, — говорит Дильтей, — и сопутствующей им теории конструкции природы посредством а priori данных логико-математических элементов сознания было окончательно обосновано суверенное сознание автономии человеческого интеллекта и его власти над вещами, — учение, которое стало господствующим убеждением самых передовых умов». Но априорная конструкция

должна быть связана с действительным опытом и анализом этого опыта посредством экспериментов. Ещё раз процитируем Дильтея:

Научное воображение человека регулировалось теперь строгими методами, предоставляемыми возможностями математического мышления, опыта, эксперимента и подтверждения фактическими данными. <...> Полученные таким образом результаты привели к прогрессу научного мышления в совместной работе учёных разных стран. Можно сказать, что лишь с этого момента человеческий разум достиг в различных культурных нациях в качестве единой силы согласного действия. Труднейшее дело человеческого духа на этой планете было совершено посредством регулирования научной фантазии, подчинившейся опытному знанию.

Простейший и, быть может, самый поучительный пример перехода от описания к построению — это формирование последовательности натуральных чисел 1, 2, 3, ... Данный пример типичен также в том, что касается введения символов. Я слышу две последовательности звуков, одну за другой. Слушая вторую мелодию и одновременно воспроизводя по памяти звуки первой мелодии, я могу установить, что вторая последовательность длиннее первой: «В этот раз я услышал больше звуков, чем в предыдущий». Это утверждение можно понять без всякой отсылки к символам. Однако я могу действовать по-другому. Слушая мелодию, я могу последовательно отмечать штрихи на бумаге, по одному штриху для каждого звука. Таким образом я получу числовой символ $////$, называемый 4 (четыре), для первой последовательности, и числовой символ $////////$, называемый 6 (шесть), для второй; теперь я утверждаю с помощью символов: $6 > 4$. К этому выводу я пришёл, не глядя на данные символы (такой метод приложим лишь к самым маленьким числам), но с помощью некоторой манипуляции: я вычеркнул по первому штриху из каждого символа и затем повторял эту операцию до тех пор, пока один из символов не был исчерпан. После чего я установил, что исчерпан первый символ 4. Легко увидеть аналогию между этой процедурой и локализацией: вместо того, чтобы просто констатировать совпадение двух событий A и B , мы ссылаемся на идеальный субстрат пространственно-временных точек, который можно задать лишь символически с помощью координат: событие A происходит в пространственно-временной точке с координатами (t_1, x_1, y_1, z_1) , а событие B — в пространственно-временной точке с координатами (t_2, x_2, y_2, z_2) ; тогда констатация их совпадения на

языке символов осуществляется посредством равенств

$$t_1 = t_2; \quad x_1 = x_2; \quad y_1 = y_2; \quad z_1 = z_2.$$

В обоих случаях мы не удовлетворяемся привязкой числовых символов в одном случае или пространственно-временных точек в другом случае к реально встречающимся последовательностям событий, но вкладываем реально встречающиеся числовые символы в последовательность всех возможных чисел.

Эта последовательность строится порождающим процессом в соответствии с принципом, утверждающим, что из данного числа всегда можно получить новое, следующее за ним число, добавив единицу. Здесь существующее проектируется на возможное, точнее на открытое в бесконечность упорядоченное многообразие возможностей, которые могут быть порождены в соответствии с фиксированной процедурой. Только в этот момент возникает собственно арифметика с её характерным принципом так называемой полной индукции, заключением от n к $n + 1$. Похожим образом дело обстоит в отношении континуума, различные точки которого можно задавать всё более точно, используя процесс деления на неограниченно измельчающиеся части. Как заметил ещё Аристотель, «в непрерывном хотя и заключается бесконечно много половин, но только в возможности, а не в действительности». В конце концов, математика — это не застывшая косная схема, как обычно думает обыватель; напротив, она находится именно в той точке пересечения ограниченности и свободы, которая и составляет суть самого человека.

Надеюсь, вы поймёте меня, если я сейчас опишу важнейшие черты конструктивного познания следующим образом.

1. Данные нам объекты мы заставляем вступать в определённые взаимодействия, которые, вообще говоря, связывают их с другими элементами, способными изменяться произвольным образом. Если обнаруживается, что некие значения, полученные в результате этих взаимодействий, не зависят от изменяемых вспомогательных элементов, то они вводятся в качестве атрибутов, присущих самим вещам (даже если в действительности мы не осуществляем те взаимодействия, на которые опирается их смысл, но лишь верим в возможность их осуществления).

2. При введении символов суждения расщепляются: часть манипуляций становится независимой от действительно данных явлений и их продолжительности, так как осуществляется уже на представляющих их символах, которые не подчиняются времени и одно-

временно служат для сохранения знания и коммуникации. Тем самым, возможность оперировать с понятиями без ограничений возникает в противовес их приложению, идеи относительно независимо противостоят реальности.

3. Символы создаются не просто «по требованию» всякий раз, когда они соответствуют действительным событиям, но вкладываются в открытое в бесконечность упорядоченное многообразие возможностей, созданных свободной конструкцией. Только такая процедура может позволить нам предсказывать будущее, ибо будущее, очевидно, не дано нам актуально.

Проблема, разрешить которую должна теория научного познания, может быть грубо сформулирована следующим образом. Комета отыщет своё завтрашнее положение, начав с положения сегодняшнего и осуществив своё движение в действительности. Мы ищем её завтрашнее положение, выписывая некие числа, которые символизируют данные, имеющиеся в данный момент в нашем распоряжении, производя с ними сложные символические операции и тем самым предсказывая будущее положение кометы, не ожидая действительного осуществления её движения. Что же общего имеет этот символичный процесс астронома с реальным процессом кометы? Не знаю, сильно ли помогут вам в решении этой проблемы соображения, представленные в двух предыдущих лекциях. Но так часто происходит с человеком, занятым философскими изысканиями: пока он продолжает свои исследования, кажется, что ситуация становится яснее и понятнее. Однако стоит остановиться и оглянуться на исходную проблему во всей её примитивности и темноте, возникает ощущение, что она по-прежнему столь же туманна и неприступна, как раньше, несмотря на все усилия и всё мастерство, вложенные в её решение. И всё же осмелюсь надеяться, что доступным для понимания оказалось хотя бы одно: как и до какой степени структура нашего научного знания обусловлена тем фактом, что мир — цель наших научных изысканий — не существует сам по себе, но возникает и существует лишь благодаря встрече субъекта и объекта.

Позвольте мне привести ещё одно наблюдение — относительно роли логики в научном познании. Первой наукой, которую греки построили на математический манер, была геометрия. Констатируя базовые факты посредством аксиом, далее они выводили из этих посылок логические заключения; заново наглядно представлять себе предмет исследования, указывать интуитивный смысл по-

лучаемых геометрических объектов и соотношений не требовалось. Такая схема называется дедуктивным построением геометрии. Благодаря ей геометрия стала образцом для всех точных наук, и немало тех, кто главной целью изучения геометрии в школе считает развитие строгого логического мышления. Но сегодня мы понимаем, что это сведение геометрии к логике было лишь первым шагом. Строя геометрию логически и проводя её доказательства, не обязательно осознавать интуитивный смысл используемых геометрических терминов, однако следует понимать все логические термины — такие выражения, как «и», «или», «следует», «все», «существует» и т. д. Между тем, можно избавиться даже от этой необходимости, на втором шаге аксиоматизировав также и логику. То, что останется, — это манипуляция символами согласно определённым правилам, где символы представляют отчасти геометрические, а отчасти логические понятия. Следовательно, логическое мышление и логический вывод — это не ядро теоретического метода, применяемого в математике и естественных науках, но скорее практический метод управления символами в соответствии с определёнными правилами. Конечно, мы, учёные, строим свои гипотезы и руководящие идеи; но строгая систематическая реализация нашего метода состоит в переставлении фигур на шахматной доске — правда, в шахматной партии, которая оказывается весьма важной для действительности.

Этим замечанием — которое немного запоздало, потому что я не мог сделать его в другом месте, — можно завершить общие методологические рассуждения, которыми мы занимались на протяжении трёх лекций; они должны объединиться в единое целое, отдельные части которого связаны друг с другом и органически друг из друга вырастают. Оставшееся время я хотел бы посвятить тому, чтобы проиллюстрировать эти общие наблюдения на примере двух основных доктрин современной физики — теории относительности и квантовой теории. Поскольку вряд ли мне удастся уместить то, что я намереваюсь сказать об относительности, в один час, я прошу позволения приступить к этой теме сегодня, начав с нескольких предварительных замечаний исторического и методического характера.

Оказавшись перед необходимостью описать положение P на плоскости концептуально (а не посредством указания «это здесь»), мы осознаём, что сделать это возможно лишь относительно некоторой системы координат, или, если угодно, относительно двух фиксированных точек A, B ; а именно, указав расстояния AP, BP , выражен-

ные в выбранной раз и навсегда единице длины. Каждая точка сама по себе равна любой другой точке, она не обладает никаким объективно осязаемым свойством, которым не обладала бы другая. В том же смысле эквивалентны все направления, исходящие из данной точки, а конкретную длину можно концептуально охарактеризовать, лишь ссылаясь на фиксированную единицу длины. Таковы типичные факты, с которыми имеет дело теория относительности. Очевидно, ключевую роль здесь играет разница между концептуальным описанием и конкретным актом указания («это здесь»). Модель и источник каждого акта указания — словечко «я». Таким образом, проблема относительности вскрывает новый частный аспект отношений между субъектом и объектом. Если каждому элементу P в некотором поле объектов соответствует элемент P' того же поля, причём переход от P к P' не разрушает никаких объективных соотношений, существующих между объектами P , мы имеем дело с изоморфным представлением поля объектов в себе — с «автоморфизмом», как называют его математики. (Здесь мы должны также предполагать, что и наоборот, объект P однозначно определяется своим образом P' .) В геометрии, очевидно, такими автоморфными представлениями являются подобия. Фигуры, получающиеся друг из друга автоморфизмом, сами по себе ничем не отличаются друг от друга; все объективные свойства у них общие — хотя индивидуально они различны. Группа всех таких автоморфизмов есть самое подходящее с математической точки зрения выражение того типа относительности, который присущ рассматриваемому полю объектов.

Относительность положения подразумевает относительность движения. То, что в повседневной жизни мы привыкли называть покоем и движением, в большинстве случаев является покоем и движением относительно неподвижной «прочностойной»¹ Земли. В этом смысле дома стоят, а машины движутся. Ещё Аристотель определял положение (*topos*) как отношение тела к окружающим его телам. Весьма выразительно высказывается на эту тему Локк. Прочитирую прекрасный пример из гл. 13 второй книги его трактата «О человеческом разумении»:

Так, мы говорим, что шахматные фигуры остались все на своём месте, или не были сдвинуты с места, если мы находим их на тех же квад-

¹ Аллюзия на начало гомеровского гимна «XXX. К Гее, матери всех»: «Петь начинаю о Гее-всематери, прочностойной» (пер. В. В. Вересаева). — *Прим. перев.*

ратах шахматной доски, где мы их оставили, хотя, быть может, шахматную доску тем временем перенесли из одной комнаты в другую, потому что мы сопоставляем их только с частями шахматной доски, сохраняющими одно и то же расстояние друг от друга. Точно так же говорим мы про шахматную доску, что она на своём прежнем месте, если она остаётся в том же месте каюты, хотя, быть может, корабль, в котором она находится, плывёт все это время. И про корабль говорят, что он на своём прежнем месте, имея в виду, что он сохраняет одно и то же расстояние от частей прилегающего берега, хотя, быть может, земля повернулась кругом и, таким образом, и шахматные фигуры, и доска, и корабль переменили свои места по отношению к более отдалённым телам, сохранившим своё расстояние друг от друга.

Галилей в своём «Диалоге о двух главнейших системах мира» изящно иллюстрирует относительность движения на примере человека, который пишет заметки на борту корабля, плывущего из Венеции в Александретту: его перо «в действительности», т. е. относительно Земли, вычертит длинную слегка волнистую гладкую линию от Венеции до Александретты.

Напротив, Ньютон в начале «Principia» весьма решительно провозглашает идеи абсолютного пространства, абсолютного времени и абсолютного движения. Но и он, разумеется, осознаёт, что из наблюдаемого изменения взаимных положений тел можно вывести лишь их относительное движение. Его научная программа состоит в том, чтобы получить истинные движения тел из их относительных движений, т. е. разностей истинных, а также сил, которые их вызывают. В последнем отношении он опирается скорее на динамику, чем на кинематику. Вновь приведу слова самого автора:

Распознавание истинных движений отдельных тел и точное их разграничение от кажущихся весьма трудно, ибо части того неподвижного пространства, о котором говорилось и в котором совершаются истинные движения тел, не ощущаются нашими чувствами. Однако это дело не вполне безнадежное. Основания для суждений можно заимствовать частью из кажущихся движений, представляющих разности истинных, частью из сил, представляющих причины и проявления истинных движений. Так, если два шара, соединённые нитью на данном друг от друга расстоянии, будут обращаться около общего их центра тяжести, то по натяжению нити можно будет узнать стремление шаров к удалению от оси вращения и по нему вычислить угловую его скорость. <...> Нахождение же истинных движений тел по причинам, их производящим, по их проявлениям и по разностям кажущихся движений и, наоборот,

нахождение по истинным или кажущимся движениям их причин и проявлений излагаются подробно в последующем.¹

Правда, решить эту проблему Ньютону удаётся лишь частично: он в состоянии отличить от других состояний движения равномерное перемещение, движение по прямой с постоянной скоростью, чисто инерционное движение тела, не подверженного воздействию внешних сил; но не может выделить среди этих движений состояние покоя.

И его неудача была неизбежной в силу так называемого принципа специальной теории относительности, которому удовлетворяют законы ньютоновской механики и истинность которого сегодня подтверждена для всех природных явлений рядом самых тонких экспериментов; в каюте корабля, плывущем по прямой с постоянной скоростью, все процессы происходят абсолютно так же, как в корабле, стоящем на якоре. Наряду с данным процессом всегда столь же возможен процесс, который получается из него сообщением всем задействованным телам общего равномерного движения. Этот принцип весьма ясным и интуитивным образом развивал ещё Галилей в своём «Диалоге». Поэтому удивительно, что Ньютон так держался своей убеждённости в существовании абсолютного пространства. Но, как можно заключить из многих пассажей в его трудах, это была эмпирически неподкреплённая и наполненная теологией априорная вера. Пространство для Ньютона — это святая вездесущность Бога в природе. В его «Оптике», например, мы читаем, что Бог всегда видит вглубь вещей, ибо бесконечное пространство есть, так сказать, его чувствилище, и таким образом Он постигает вещи в непосредственном присутствии.

По вопросу об относительности движения разгорелся яростный спор между Лейбницем, который поддерживал идею относительности, и Ньютоном, от имени которого выступал Кларк (что характерно, теолог). Я собираюсь начать следующую лекцию с весьма показательных цитат из писем, которыми обменивались Лейбниц и Кларк.

IV. Относительность

Убеждённость Лейбница в относительности пространства и движения опирается на принцип достаточного основания, столь харак-

¹Цит. по изд.: Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989. Пер. А. Н. Крылова.

терный для его философской системы. Во втором письме Кларку он формулирует и объясняет этот принцип следующим образом:

Великой основой математики является принцип противоречия. <...> Но чтобы перейти от математики к физике, требуется ещё другой принцип, как я заметил в своей «Теодицее», а именно принцип необходимости достаточного основания, гласящий, что ничего не случается без того, чтобы было основание, почему это случается скорее так, а не иначе. Поэтому Архимед, когда он в своей книге о равновесии хотел перейти от математики к физике, был вынужден воспользоваться частным случаем великого принципа достаточного основания. Он допускает, что весы останутся в покое, если на их обеих чашах всё одинаково и если на концах обоих плеч рычага поместить равные тяжести. Ибо в этом случае нет никакого основания для того, чтобы одна сторона весов опустилась скорее, чем другая.¹

На это Кларк отвечает:

Конечно, верно, что ничто не существует скорее так, а не иначе, без того, чтобы для этого также не было достаточного основания. Поэтому там, где нет причины, не может быть и действия. Но это достаточное основание часто является не чем иным, как простой волей Бога. Например, если выяснить, почему эта определённая система материи создана в одном определённом месте, а другая — в другом определённом месте, в то время как обратное дало бы тот же самый результат, предполагая, что обе материальные системы (или их элементы) подобны (поскольку каждое место совершенно безразлично всякой материи), то окажется, что для этого не может быть другого основания, кроме простой воли Бога. Если бы последняя ни в одном случае не могла бы действовать иначе, чем по определённой причине, так же как и весы не могут двигаться без перевешивающего груза, то тогда пришлось бы допустить, что Бог не имеет свободного выбора, и ввести фатальность.

Лейбниц наносит ответный удар:

Для опровержения мнения тех, которые считают пространство субстанцией или по крайней мере какой-то абсолютной сущностью, у меня имеется несколько доказательств. Но сейчас я хочу воспользоваться одним, для применения которого мне представляется здесь случай.

Итак, я утверждаю: если пространство было бы абсолютной сущностью, то случилось бы что-то, для чего невозможно было бы указать

¹Здесь и далее цит. по изд.: Лейбниц Г.-В. Переписка с Кларком. Пер. В. И. Сви- дерского и Г. Кребера. В кн.: Лейбниц Г.-В. Сочинения в четырех томах: Т. I. М.: Мысль, 1982.

достаточное основание, а это нарушает нашу аксиому. Доказываю я это следующим образом. Пространство является чем-то совершенно однородным, и, если отвлечься от находящихся в нём вещей, одна его точка абсолютно ничем не отличается от любой другой точки. Следовательно, предполагая, что пространство является чем-то самим по себе, а не только порядком тел между собой, невозможно указать основание для того, почему Бог, сохраняя те же взаимные расположения тел, разместил их в пространстве именно таким образом, а не иначе и почему всё не было расположено наоборот, если бы, например, поменяли местами восток и запад. Но если пространство не что иное, как этот порядок, или отношение, и если оно без тел не что иное, как только возможность давать им определенное положение, то именно эти два состояния — первоначальное и обращённое — ни в чём не отличаются друг от друга. Их различие содержится лишь в нашем химерическом предположении реальности пространства самого по себе. В действительности же одно состояние было бы точно таким же, как и другое, ибо они абсолютно неразличимы, и, таким образом, вопрос о том, почему одно состояние предпочитается другому, является неуместным.

Так же дело обстоит со временем. Допустим, кто-нибудь спросил бы, почему Бог не создал всё на один год раньше, допустим дальше, он сделал бы из этого вывод о том, что Бог совершил что-то, для чего нельзя найти основание, по которому он действовал так, а не иначе. На это можно возразить, что подобный вывод был бы справедлив, если бы время являлось чем-то вне временных вещей, ибо тогда, конечно, было бы невозможно найти основание для того, почему вещи — при предположении сохранения их последовательности — должны были бы быть поставлены скорее в такие, чем в другие, мгновения. Но как раз это доказывает, что мгновения в отрыве от вещей ничто, и они имеют своё существование только в последовательном порядке самих вещей, а так как этот порядок остается неизменным, то одно из двух состояний, например то, в котором всё совершалось бы на определённый промежуток времени раньше, ничем не отличалось бы от другого, когда всё совершается в данный момент, и различить их было бы невозможно.

Лейбниц весьма находчиво иллюстрирует роль, которую пространство играет в локализации тел, на примере генеалогического древа. Оно служит для выражения взаимных отношений родства между людьми, отводя каждому определённое положение на ветвях. Но само древо не существует прежде и независимо от людей, его составляющих.

Хорошо видно, насколько весь этот спор пронизан теологией. Ньютону и Кларку Бог необходим именно для этого — чтобы он

предопределял произвольным образом и без внутренних оснований те решения, которые нельзя объяснить иным способом. В то время как представления Лейбница о величии Бога не позволяют ему обременять Его необходимостью принимать подобные решения. В этом споре современная физика всецело стоит на стороне Лейбница.

Поэтому физика вынуждена считать все состояния движения тела эквивалентными. Однако Ньютон обнаружил, что между ними существуют если не кинематические, то по крайней мере динамические различия: равномерное движение выделено как движение тела, на которое не действуют силы извне. Эта антиномия кинематики и динамики требует объяснения. Споры по данному вопросу не затихали два столетия. Чтобы ясно сформулировать ответ, предлагаемый теорией относительности, необходимо немного математики.

Движения тел на горизонтальной плоскости E можно представить графически следующим образом. Будем отмечать время t на оси, перпендикулярной плоскости E . Событие, происходящее в точке P нашей плоскости E в момент времени t , изображается, исходя из его положения в пространстве и времени, точкой на графике, расположенной вертикально над точкой P на высоте t . Такая схема применяется, например, на железных дорогах при построении графических расписаний поездов (рис. 13). Каждое маленькое движу-

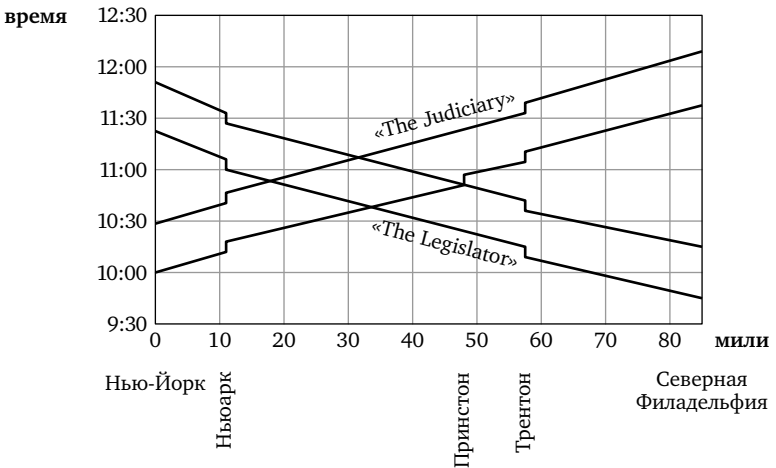


Рис. 13. Четыре поезда на трассе Нью-Йорк—Филадельфия

щееся тело описывает «мировую линию», на которой расположены все пространственно-временные точки, через которые оно проходит. Её вертикальная проекция на горизонтальную плоскость E даёт пространственную орбиту тела. Но кроме этой орбиты из мировой линии можно извлечь временной закон, которому подчиняется движение тела. Чем круче линия, тем медленнее оно движется. Мировая линия тела, покоящегося на плоскости E , представляет собой вертикальную прямую. Если тело совершает равномерное перемещение (относительно E), т. е. движется в пространстве по прямой с постоянной скоростью, то его мировая линия на нашем графике оказывается прямой. Столкновение двух тел означает, что соответствующие мировые линии пересекаются; точка пересечения показывает, где и когда это столкновение произошло. Все события, лежащие на одной вертикальной прямой, имеют одну и ту же пространственную локализацию, все события, лежащие на одной горизонтальной плоскости, происходят одновременно. Можно начертить ещё один график — график распространения света. Световой сигнал посылают из точки O нашей плоскости в момент времени $t = 0$. Через 1 с его получают во всех точках P на расстоянии $s = 300,000$ км от O . Эти точки образуют окружность радиуса s с центром O . Единицы измерения можно выбрать так, чтобы отрезок, соответствующий 1 с в вертикальном направлении, соответствовал также расстоянию s в горизонтальном направлении. Через 2 с свет достигнет концентрической окружности удвоенного радиуса, и т. д. Следует нарисовать эти окружности друг над другом в слоях $t = 1, t = 2, \dots$ соответственно. Таким образом, мировые точки, до которых дойдёт световой сигнал, посланный из мировой точки $(O, t = 0)$, на нашей диаграмме образуют вертикальный круговой конус с углом 90° при вершине. Я уже упоминал этот световой конус — геометрическое место всех мировых точек, где наблюдается световой сигнал. Плоскость здесь используется как ориентир, по отношению к которому описываются все движения, — так же, как в повседневной жизни для этой цели нам почти всегда служит Земля. Мы лишили пространство одного измерения и ограничились явлениями, происходящими на двумерной плоскости, лишь для того, чтобы иметь возможность представить их графически.

Утверждение о том, что свет относительно плоскости E распространяется со скоростью s по концентрическим окружностям с центром в его источнике O , верно, только если движение плоскости E удовлетворяет подходящим условиям. Тот, кто верит в материаль-

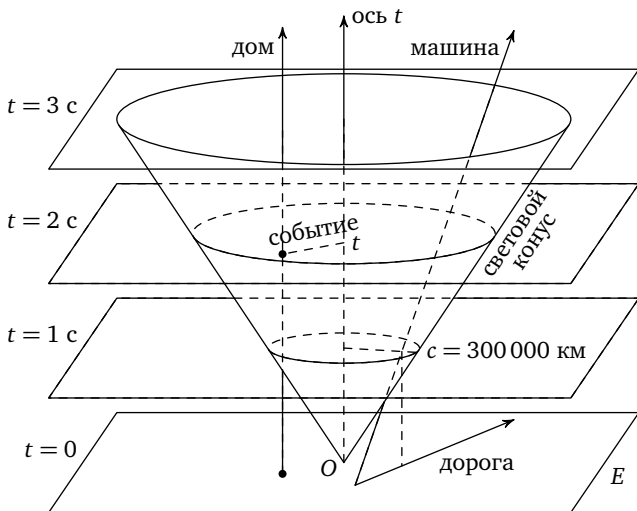


Рис. 14. Графическое представление движения тел и распространения света на плоскости E

ный световой эфир, сказал бы, что плоскость E должна покоиться относительно эфира. Аналогично, утверждение о том, что тела, на которые не действуют никакие внешние силы, движутся относительно E по прямой с постоянной скоростью, подразумевает некоторые требования к состоянию движения нашей координатной плоскости E . Если оба условия выполнены, мы можем, следуя Эйнштейну, назвать плоскость E допустимой. Чтобы указывать положение на плоскости E , а также время t с помощью чисел, следует начертить в этой плоскости оси, пересекающиеся под прямым углом, и договориться о конкретной единице длины. В полученной таким образом координатной системе положение на плоскости E задаётся двумя координатами x, y . Каждая мировая точка теперь характеризуется тремя координатами $(t, x, y) = (x_0, x_1, x_2)$. Каждую структуру, состоящую из мировых точек, можно описать арифметически согласно принципам аналитической геометрии. Так, световой конус, исходящий из мировой точки t^0, x^0, y^0 , состоит из тех и только тех мировых точек t, x, y , которые удовлетворяют соотношению

$$(t - t^0)^2 - (x - x^0)^2 - (y - y^0)^2 = 0, \quad t - t^0 \geq 0.$$

Мы привыкли измерять пространственные и временные координаты при помощи линеек и часов. Делая это, мы используем

некоторые физические процессы и опираемся на некоторые предположения относительно их законов — задействуем процессы и законы, вскрывающие внутреннюю структуру, метрическую структуру пространства и времени. Но для начала лучше на всякий случай воздержаться от любых конкретных физических гипотез. Это вынуждает нас подходить к понятию координат гораздо более фундаментальным образом. Координаты больше не измеряются; они означают всего лишь произвольную нумерацию мировых точек. Это просто символы, служащие для того, чтобы отмечать мировые точки и отличать их друг от друга. Координаты суть не более чем метки, или имена мировых точек. Каждая координата есть величина, принимающая определённое численное значение в каждой пространственно-временной точке. Поскольку мир представляет собой континуум, естественно предполагать, что это численное значение непрерывно зависит от точки. Иными словами, координата — это непрерывная функция положения в континууме пространственно-временных точек. Четырёхмерность этого континуума проявляется в том, что для выделения данной конкретной точки из многообразия всех остальных точек нам нужны четыре такие координаты, или функции положения x_i ($i = 0, 1, 2, 3$). С помощью координат x_i четырёхмерный континуум отображается на так называемое четырёхмерное числовое пространство, т. е. континуум всех возможных четвёрок (x_0, x_1, x_2, x_3) чисел. В последующих описаниях я смело заменяю это числовое пространство обычным интуитивным пространством — но только потому, что это позволяет мне пользоваться более знакомым языком, который соответствует привычкам мышления и интуиции моих слушателей. Разумеется, для этого мне приходится мысленно отбрасывать одну из четырёх размерностей. Но следует уяснить раз и навсегда, что все геометрические термины в действительности относятся к числовому пространству.

До тех пор, пока я не имею дело с действительными явлениями и их законами, нет оснований предпочитать одну координатную систему другой. Четырёхмерный мир в отрыве от своего содержания — это всего лишь аморфный континуум безо всякой структуры; лишь совпадение пространственно-временных положений и их ближайшие окрестности имеют прямой смысл, который можно постичь адекватной интуицией. Представьте себе континуум как массу пластилина. Объективный смысл имеют только те соотношения, которые сохраняются при произвольных деформациях пластилина. К этому типу относится, например, пересечение двух мировых ли-

ний. Карты мира, которые рисуют в числовом пространстве две различные координатные системы, связаны таким преобразованием, или деформацией.

Но теперь мы обращаемся к действительным явлениям и их законам; они выявляют определённую структуру пространственно-временного континуума. В начале «Principia» Ньютон заявляет, что эта структура представляет собой стратификацию, пересекаемую слоями. Все одновременные мировые точки образуют трёхмерную страту — пространство настоящего; все мировые точки с одинаковым положением составляют одномерный слой. Таков истинный смысл его учения об абсолютном пространстве и времени. Если это так, можно ввести особые «допустимые» координатные системы, которые определённым образом адаптированы к этой структуре. В данном случае, например, требуется, чтобы координата x_0 , называемая временем, имела одно и то же значение во всех точках трёхмерной страты, а остальные три координаты x_1, x_2, x_3 оставались постоянными на одномерном слое.

В чём же состоит эмпирическое обоснование ньютоновского предположения? Какие действительные явления, должны мы спросить, задают эту стратификацию и это расслоение? Как мы видели, научная программа Ньютона как раз и призвана была ответить на этот вопрос; но в её реализации он преуспел лишь до некоторой степени. Среди всех мировых линий можно динамическим образом выделить геодезические, т. е. мировые линии тел, которые не испытывают воздействия никаких внешних сил. Геодезическая, или

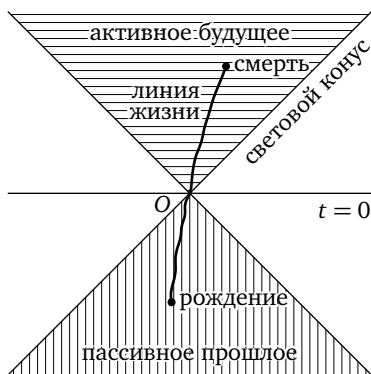


Рис. 15. Прошлое и будущее (как задаёт их световой конус)

свободная орбита, однозначно задаётся своей начальной точкой и начальным направлением. Структуру вселенной, которой обусловлено это динамическое различие, мы называем инерциальной. Но то, чего тщетно пытался добиться Ньютон, осуществить невозможно — в ансамбле свободных орбит объективно выделить более узкий класс мировых линий тел в состоянии покоя, среди которых конкретная линия задавалась бы только начальной точкой (без начального направления).

А как насчёт уровней одновременности? Имеет ли вера в их объективный смысл более надёжные основания? Мы доверяем одновременности, поскольку каждый, не раздумывая, считает, что события, которые он наблюдает, происходят в момент наблюдения. Именно так я распространяю своё время на весь мир, попадающий в поле моего зрения. Однако эта наивная точка зрения потеряла опору давным-давно, когда Рёмер обнаружил конечность скорости распространения света. Итак, у нас зародились сомнения; рассмотрим вопрос более обстоятельно. Уровень одновременности, проходящий через мировую точку O («здесь и сейчас»), должен разделять прошлое и будущее. Прошлое и будущее — какая действительность скрыта за этими загадочными словами? Стреляя из точки O во всех возможных направлениях и со всеми возможными скоростями, я могу попасть лишь в мировые точки событий, которые происходят позже события в точке O ; я не могу выстрелить в прошлое, я уже не могу убить Цезаря. Аналогично, событие, происходящее в точке O , оказывает влияние лишь на события в более поздних мировых точках; изменить прошлое невозможно. Иными словами, рассматриваемое расслоение имеет причинный смысл, оно описывает, как понимал ещё Лейбниц, причинную связь мира.

Но в представления о причинной структуре современная физика вносит поправки, имеющие катастрофические последствия для старой идеи одновременности. Эти поправки обусловлены экспериментальным открытием того факта, что ни одно воздействие не распространяется со скоростью, превосходящей скорость света. Следовательно, вышеупомянутый световой конус с вершиной в точке O разделяет прошлое и будущее не в плоскости $x_0 = \text{const}$, а в четырёхмерном мире. Это означает, что причинная структура имеет несколько иной характер, чем предполагал Ньютон. Позвольте мне описать ситуацию чуть более подробно. Если я нахожусь в точке O , то мою линию жизни — мировую линию моего тела — она делит на две части: прошлое и будущее. Это по-прежнему верно. Прошлое и

будущее, известные мне по опыту моей внутренней жизни, остаются совершенно такими же. Однако мои отношения с внешним миром — это совсем другое дело. Мировые точки лежат внутри светового конуса, исходящего из точки O , тогда и только тогда, когда они испытывают влияние того, что я делаю или не делаю в этой точке. Вне конуса расположены события, которые находятся позади меня и которые я уже не могу изменить. Конус охватывает моё активное будущее. Дополняя этот направленный вперёд конус его продолжением, направленным назад, я получаю двойной конус. В направленном назад конусе лежат все события, которые могут повлиять на меня в точке O , т. е. все мировые точки P , такие, что направленный вперёд световой конус с вершиной P содержит O как внутреннюю точку. В частности, направленный назад конус содержит все события, которые я видел собственными глазами или о которых узнал из сообщения или письменного документа, восходящего в конце концов к свидетельствам очевидцев: направленный назад конус — это область моего пассивного прошлого. Обе зоны — активного будущего и пассивного прошлого — соприкасаются в точке O , не гранича больше нигде: они разделены промежуточной областью, с которой в настоящий момент я не связан ни активно, ни пассивно. В этом состоит принципиальное различие с более старыми концепциями, которые позволяли активному будущему и пассивному прошлому граничить вдоль целого слоя настоящего.

Приспособиться к этой новой концепции причинной структуры совсем нетрудно. Рассмотрим вопрос, являются ли современниками два индивида, один из которых находится здесь, а другой — на Сириусе. Вопрос можно задать более конкретно: могу ли я как-нибудь повлиять на этого индивида, например послать ему сообщение? Или, наоборот, может ли он послать сообщение мне, или можем ли мы общаться друг с другом, т. е. могу ли я послать ему сообщение и получить ответ? И так далее. Все эти вопросы соответствуют разным ситуациям. (См. рис. 16.)

Инерциальная структура и причинная структура должны занять место ньютоновских абсолютного пространства и абсолютного времени. Осмысление природы инерциальной и причинной структуры — их отличия от того, чем полагал их Ньютон, — есть первая важная часть теории относительности (слово «относительность» тут, разумеется, совершенно неуместно). Так же, как инерциальная структура обусловлена тем эмпирическим фактом, что геодезическая, описываемая свободным телом, однозначно задаётся своей

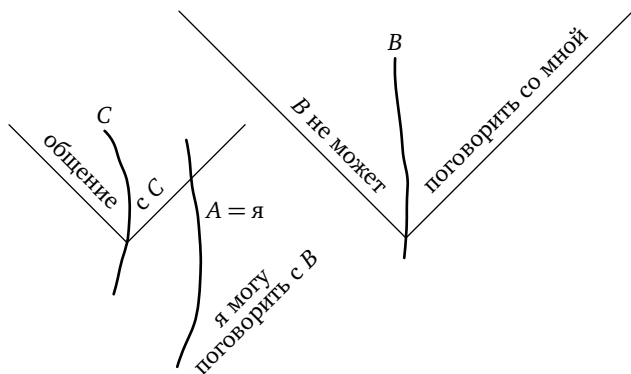


Рис. 16. Современники ли А, В, С? (Световые конусы с вершинами в точках моей (индивида А) линии жизни пересекаются с линией жизни индивида В, но ни один световой конус с вершиной на его линии жизни не пересекается с моей линией жизни. Индивид А посылает световое сообщение индивиду С, и С может ему ответить: взаимное общение.)

начальной точкой и начальным направлением (которые могут быть выбраны случайным образом), причинная структура обусловлена законом постоянства скорости света. Как вы, возможно, помните, он утверждает, что световой конус, исходящий из точки O , однозначно определяется этой точкой, независимо от состояния источника света, испускающего световой сигнал, проходя через мировую точку O .

Но вернёмся к теории относительности и координатам. Проблема заключается в том, как выделить из всех возможных координатных систем конкретную систему или целый их класс объективным образом, а не при помощи конкретных актов указания (обозначаемых такими словами, как «я», «это», «здесь», «сейчас»). Единственный способ состоит в том, чтобы объявить: в искомой системе координат такие-то физические процессы выражаются такими-то арифметическими средствами. Это простое содержание знаменитого постулата общей теории относительности. Специальная теория относительности ему ни в коем случае не противоречит. Она лишь утверждает, что специальные координатные системы существуют, что мир можно отобразить на числовое пространство таким образом, что

- 1) геодезические изображаются прямыми и
- 2) все световые конусы представляются вертикальными круговыми конусами с углом 90° при вершине.

Однако общая теория относительности сомневается, и не без оснований, в существовании таких выделенных координатных систем. И теперь мы наконец возвращаемся к тому расхождению между кинематическим и динамическим анализом природы, которое и вызвало нашу дискуссию.

Мы открыли инерциальную структуру мира как причину динамических различий между движениями. Согласно Галилею, действительное движение тела определяется борьбой двух тенденций: инерции тела и сил, пытающихся отклонить его от инерционного пути. Сила, с которой инерция сопротивляется отклонению, определяется инертной массой. В физике Галилея и Ньютона инерциальная структура понимается как жёсткое геометрическое свойство мира — подобно тому, как обычная геометрия фиксирует различие между прямыми и кривыми линиями геометрически, т. е. раз и навсегда, вне зависимости от материальных воздействий. Об этом свидетельствует тот факт, что арифметическое выражение всех инерционных движений в подходящей системе координат полностью определено и не содержит никакого произвола. Теперь мы понимаем, почему ситуация казалась настолько неудовлетворительной: нечто, производящее столь огромный эффект, как инерция, — когда она, например, разрывает на части вагоны столкнувшихся поездов в борьбе с силами упругости, действующими между их молекулами, — якобы есть жёсткое геометрическое свойство мира, фиксированное раз и навсегда. Она действует, но не взаимодействует! С этим невозможно смириться. Поэтому решение будет достигнуто, как только мы осмелимся признать инерциальную структуру чем-то реальным, что не только оказывает воздействие на материю, но и само подвержено таким воздействиям.

Позвольте мне проиллюстрировать то, что я хочу сказать, на гораздо более старом примере. Демокрит ещё полагал, что пространство наделено безусловно выделенным направлением — сверху вниз, — и считал, что тела, если их не тревожить, следуют в пустом пространстве этому направлению. Действительно, ведь никто не может отрицать существование у нашего пространства такой вертикальной структуры; она принадлежит нашему самому рутинному повседневному опыту. Но с тех пор мы узнали, что вертикальность — направление гравитации — не есть геометрическое свойство пространства, но имеет физическую причину, что она различна в различных точках Земли и зависит от физических условий в том или ином месте. На неё влияет распределение материи. Воз-

ражение, которое столь часто выдвигалось в Средние века против учения о сферической форме Земли, — что наши антиподы висели бы головой вниз и упали бы в пустоту — потеряло для нас свою убедительность. И точно так же, как в этом примере с вертикальной структурой, мы должны привыкнуть к мысли, что инерциальная структура мира является не жёсткой, а гибкой и меняется в результате материальных воздействий. В том, что касается метрической структуры пространства, этот шаг сделал Риман ещё в середине XIX века. Эйнштейн переоткрыл его независимо от Римана, дополнив эту идею важным выводом, обеспечившим её плодотворность для физики: из совпадения инертной массы и веса — факта, который все знали и никто не понимал, — он заключил, что гравитация — это не сила, а часть инерции; в дуализме инерции и силы её следует поместить на сторону инерции. Расщепление равномерного поля инерции на однородную часть, которая одинакова везде и отвечает за галилеевский закон инерции, и гораздо более слабое отклонение, называемое гравитацией, которое окружает отдельные звёзды, имеет место не абсолютно, но относительно координатной системы, а значит, зависит от неё.

Аналогичным образом общая теория относительности избавляет причинную структуру, представленную световым конусом, от геометрической жёсткости и делает её зависимой от материи. По ходу дела Эйнштейн сводит обе структуры, причинную и инерциальную, к более глубокой метрической структуре вселенной и смело использует для неё старое сакральное название «эфир». Нам нет необходимости в это вдаваться. Но запомните второй фундаментальный тезис теории относительности: инерциальная и причинная структура — это нечто реальное, имеющее такое же строение, как электромагнитное поле, а значит, она взаимодействует с материей. (Позвольте мне напомнить, что первый фундаментальный тезис теории относительности состоит в том, что прошлое и будущее разделяет световой конус и что световой конус, исходящий из точки O , однозначно определяется этой точкой, независимо от состояния источника света при её прохождении.)

Это изложение основного содержания теории относительности было необходимо для того, чтобы уяснить, что именно она утверждает об отношении субъекта и объекта в научном познании. Здесь я бы хотел выделить три момента.

Первое. Если мы рассматриваем инерциальное и причинное поле как нечто реальное и вводим в физические законы некоторые ха-

рактические характеристики состояния, описывающие эти два поля, то из способа их введения ясно следует, что эти характеристики нельзя наблюдать напрямую — мы можем определить их, только если считаем возможным послать световой сигнал из каждой случайной мировой точки и зафиксировать его во всех пространственно-временных точках, либо отправить из каждой мировой точки в каждом случайном направлении точечную массу, свободную от воздействия каких бы то ни было сил, и проследить за её движением. Однако, с другой стороны, эти «возможные» источники света и пробные тела не могут быть включены в объективное состояние мира, которое задано раз и навсегда; ибо они должны иметь возможность меняться, и, кроме того, они бы изменили распределение инерциального и причинного поля, которое от них зависит. Таким образом, противопоставление безусловно данного объективного мира и наблюдателя, изменяющего условия своего эксперимента в области возможного, проявляется здесь особенно ярко.

Второе. Непосредственный опыт субъективен, но абсолютен; сколь бы туманным он ни был, в этой туманности он дан именно так, а не иначе. Напротив, объективный мир, который мы постоянно принимаем в расчёт в нашей практической жизни и который наука стремится выкристаллизовать в ясную форму, с необходимостью относителен; он может быть представлен чем-то определённым (числами или другими символами) лишь после того, как в мире была произвольным образом введена система координат. Ранее мы говорили, что каждое различие в опыте должно быть обусловлено различием в объективных условиях; теперь мы можем добавить: таким различием в объективных условиях, которое инвариантно относительно преобразований координат, — различием, от которого нельзя избавиться простым изменением используемой системы координат. Мне кажется, в этой паре противопоставлений — субъективное-абсолютное и объективное-относительное, — содержится один из самых фундаментальных эпистемологических выводов, извлекаемых из естественных наук. Тот, кто жаждет абсолюта, вынужденно получает в нагрузку субъективность — «я», для которого существуют вещи; тот, кто стремится к объективности, не может избежать проблемы относительности!

Третье. Объективный мир просто существует, но не происходит; в целом он не имеет истории. Только перед глазами сознания, поднимающегося по мировой линии моего тела, какое-то сечение этого мира «оживает» и проходит мимо него как пространствен-

ное изображение, преобразующееся во времени. Это расщепление мира на пространство и время в данный момент для данного сознания выражается следующей миро-геометрической конструкцией. В мировой точке O мы имеем световой конус K и направление мировой линии b наблюдателя. В близкой окрестности точки O можно считать b прямой линией. В окрестности точки O имеется некоторое множество параллельных плоскостей, которые пересекают конус K на подобные эллипсы с центрами, лежащими на линии b . Взяв эти плоскости в качестве уровней одновременности, а прямые, параллельные прямой b , — в качестве слоёв точек, имеющих одинаковое положение, мы получим в окрестности точки O разложение на пространство и время относительно данного наблюдателя. Эллипсы, полученные в сечениях, проектируются вдоль прямой b на

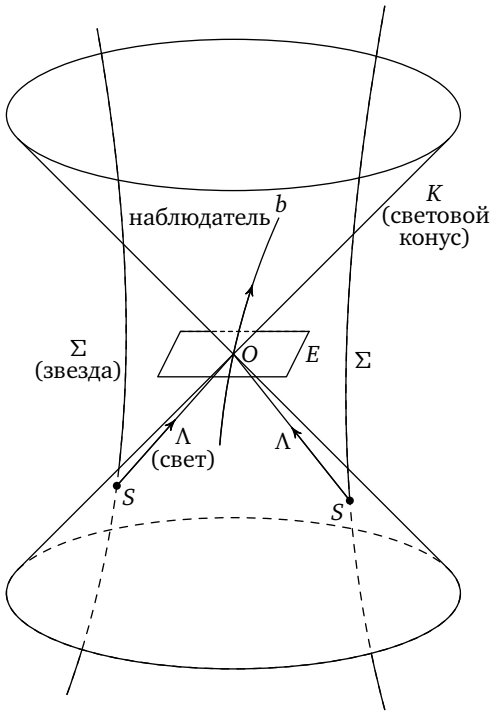


Рис. 17. Элементы, от которых зависит угловое расстояние между двумя звёздами. (Здесь b — мировая линия наблюдателя, Σ — двух звёзд, Λ — их световых сигналов; O — момент наблюдения, E — пространственная окрестность наблюдателя в этот момент, K — световой конус.)

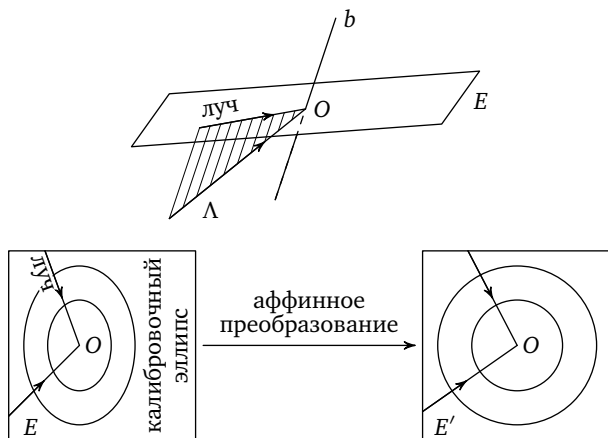


Рис. 18. Вспомогательные построения. *Сверху*: проекция поступающего светового сигнала Λ на «пространство» E . *Снизу*: при помощи аффинного преобразования (= параллельной проекции) калибровочные эллипсы превращаются в окружности.

плоскость E из рассматриваемого множества, проходящую через саму точку O : в этой плоскости мы получаем множество подобных эллипсов с центром O . Назовём их калибровочными эллипсами в пространственной плоскости наблюдателя, а о самой плоскости E будем говорить, что она сопряжена с направлением b относительно светового конуса с вершиной O (см. рис. 17 и 18).

Кажется целесообразным описать здесь отношение субъекта и объекта во всей полноте на типичном примере, который следует выбрать как можно более простым. Понятно, что это отношение должно быть описано полностью, иначе мы завязнем в чисто словесных определениях пространства, времени и т. п., которые оппонент сможет раскритиковать как несовершенные, применяя столь же неполные аргументы. Рассмотрим наблюдение двух или более звёзд одного созвездия. Для простоты я буду считать сознание точечным глазом, мировая линия которого обозначается через b . Наблюдение происходит в момент O его жизни. Построение следует проводить в четырёхмерном числовом пространстве координат; лишь для большей наглядности я буду рисовать геометрические картинки. На рисунке Σ — это мировые линии двух звёзд. Они пересекают направленный назад световой конус K , исходящий из точки O , в точках S . Свет звёзд, достигающий наблюдателя в момент O , информирует его о состоянии звёзд в этот момент S их истории. Кроме того, нам

нужны мировые линии Λ световых сигналов, которые обе звезды посылают из точки S наблюдателю в точке O . Эти линии лежат на конусе K и могут быть определены, как т. н. характеристики, следующим образом. Каждой мировой точке P соответствует световой конус $K(P)$, так что мы имеем поле световых конусов. Характеристика Λ — это мировая линия, которая лежит на всех конусах $K(P)$ поля, которые исходят из точек P линии Λ^1 . Теперь вступает в силу разложение на пространство и время относительно наблюдателя в близкой окрестности точки O . Мы проектируем линию Λ параллельно направлению линии b в точке O на пространственную плоскость E , проходящую через O , которая сопряжена с направлением b относительно светового конуса $K(O)$. Такие проекции суть пространственные световые лучи. Проведём вспомогательное построение: параллельной проекцией отобразим плоскость E в другую плоскость E' так, чтобы калибровочные эллипсы перешли в концентрические окружности с центром O . При этом направления двух пространственных световых лучей в точке O переходят в два направления, лежащие в плоскости E' ; и угол θ , который они образуют друг с другом, — это именно тот угол, который теодолит показывает в качестве угла, под которым две звезды видны наблюдателю. Приведённая инструкция по построению угла θ содержит в себе всё: зависимость угла от самих звёзд, от причинного поля, простирающегося между звёздами и наблюдателем, от положения наблюдателя в мире (пространственная перспектива) и от состояния движения (значение угла зависит от направления мировой линии b , проходящей через точку O : это «скоростная перспектива», известная как абберрация). Такие углы θ между всеми парами звёзд, составляющих созвездие, определяют его видимую форму — форму, которая возникает в предположении, что я есть вышеупомянутый точечный глаз, и которую саму по себе нельзя описать объективно, в математических терминах, а можно лишь ощутить в восприятии. По этой причине нельзя и каким-либо образом указать закон, согласно которому значения математического угла θ определяют видимую форму созвездия; без отсылки к опытному знанию можно сказать лишь следующее: если при повторном наблюдении эти углы останутся теми же, то и созвездие вновь предстанет в той же форме, а если они изменятся, то и созвездие будет выглядеть иначе.

¹Точнее говоря: для каждой точки P , лежащей на линии Λ , касательная к Λ в точке P лежит на конусе $K(P)$.

Я надеюсь, что этот пример после тщательного обдумывания приведёт к пониманию процедуры, применяемой в физике и описанной выше в общем виде: физика строит объективный мир в математических символах, но затем, чтобы связать теорию с опытом, должна указать метод, с помощью которого можно найти величины, обладающие решающей важностью для непосредственного восприятия, — решающей в том смысле, что равные значения этих величин гарантируют одинаковость восприятия. При этом, разумеется, в объективный мир следует включить наблюдателя как физическое существо и его состояние.

В последней лекции, лишь косвенно связанной с предыдущей, я буду говорить о квантовой теории с точки зрения её вклада в проблему отношения субъекта и объекта в физике.

V. Субъект и объект в квантовой физике

Сегодня я хочу сбросить с себя мантию философа и рассказать вам историю — историю развития квантовой теории в её основных стадиях. Мне следует полностью отказаться о мысли убедить вас в том, что это развитие должно было идти именно таким путём; для этого пришлось бы гораздо подробнее ознакомить вас с физическими фактами и гораздо точнее описать соответствующие теоретические инструменты и их возможности. Можете мне поверить, что люди, которые придавали этому развитию решающие импульсы, были ответственными учёными, а не безрассудными революционерами, что они держались прекрасной в своей гармонии и полностью классической теории электродинамических и кинематических явлений так долго и так упорно, как только это было возможно, и что они постепенно склонились к другому курсу не просто из жажды новизны, но под непреодолимым давлением опыта. Не соблазнительная игра с новыми возможностями, которым приятно следовать какое-то время, пока они не выливаются в абсурд, — что, по-видимому, происходит в современной живописи, — но горькая необходимость привела нас к этой странной квантовой физике. Её трудно понять, потому что она противоречит некоторым базовым концепциям, которые жёстко закреплены в нашем языке, и даже сегодня мы, физики, ещё не вполне уверены в том, действительно ли мы поняли ситуацию. То, что имеется в нашем распоряжении, — это математический аппарат, который безотказно работает и даёт однозначные предсказания всякий раз, когда их можно проверить

на опыте. Квантовая физика означает кризис старой идеи причинности в том же смысле, в каком теория относительности потрясла основы представлений о пространстве и времени. Здесь нам придётся обсудить также принцип неопределённости квантовой теории; но нас интересует не столько отрицание им строгой причинности, сколько тот факт, что через этот принцип между действительным процессом и наблюдением, между объектом и субъектом открывается пропасть, гораздо более глубокая, чем в классической физике.

В XVIII веке Гюйгенс выдвинул волновую теорию света, противопоставив её корпускулярной теории, принадлежащей Ньютону. Волновую природу света ясно доказывают явления интерференции и дифракции. Если волна, имеющая амплитуду u , встречается с волной, имеющей амплитуду u' , они могут усилить или ослабить друг друга в зависимости от разности фаз между двумя колебаниями в данной точке пространства. Интенсивность, или энергия, волны пропорциональна квадрату u^2 амплитуды; интенсивность совместного действия двух волн с разностью фаз δ вычисляется по теореме косинусов плоской тригонометрии и составляет

$$u^2 + u'^2 - 2uu' \cos \delta.$$

Таким образом, при наложении двух волн равной интенсивности в некоторых местах возникает четырёхкратная интенсивность, а в некоторых других — нулевая, со всеми промежуточными значениями в остальных точках. Но согласно корпускулярной концепции, которая утверждает, что свет состоит из частиц и его интенсивность определяется энергией этих частиц, при совместном действии двух полей излучения с интенсивностью 1 должно возникать поле, везде имеющее интенсивность 2. Колебания, порождающие свет, изначально считались механическими колебаниями некоей субстанции — светового эфира. Это приводило ко всё более серьёзным трудностям и фактически оказалось непримиримо с принципом специальной теории относительности, который был подтверждён экспериментально как раз в области оптики. Все трудности исчезли и наши физические представления кардинально упростились, когда Максвелл осознал, что свет — это электромагнитные колебания высокой частоты. Сначала уравнения Максвелла продемонстрировали возможность существования электромагнитных волн, а затем они были действительно обнаружены в опытах Г. Герца и нашли своё практическое применение в беспроволочном телеграфе. Следует держать перед глазами успехи волновой оптики,

достигнутые ей на протяжении почти двух столетий, чтобы по-настоящему оценить тот вес, которым обладает эта теория.

И всё же, когда в начале этого века физики стали вторгаться в атомные процессы, свет, к их огромному удивлению, вновь начал проявлять и корпускулярные свойства. Первые трудности возникли при попытке исследовать взаимодействие между веществом и излучением теми же средствами, которые со времён Даниила Бернулли с огромным успехом применялись в теории газов. На их основе невозможно было объяснить, как при данной температуре вообще может достигаться какое-либо равновесие; к примеру, при некоторой температуре тело приходит в состояние красного каления, при более высокой температуре — в состояние белого каления, причём излучаемая энергия распределена по частотам световых и тепловых лучей строго определённым образом. Между тем, вся энергия должна была бы излучаться на максимальных частотах, на которых в принципе способно излучать имеющееся вещество в соответствии со строением своих атомов. Это противоречие можно было разрешить лишь в предположении, что обмен энергией между атомами и световой волной с частотой ν происходит не непрерывно, а лишь дискретно, а именно, что энергия может передаваться лишь порциями, составляющими целое кратное некоторого кванта энергии ϵ ; последний зависит от частоты ν , но очень простым образом — он ей пропорционален: $\epsilon = h\nu$. В этом состояло эпохальное открытие Макса Планка, совершённое им в 1900 г. Абсолютная константа природы h чрезвычайно мала:

$$h = 6,547 \times 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{с};$$

откуда ясно, что в большинстве случаев квантовое поведение энергии можно полностью игнорировать. В конце концов, квант действия h возник лишь в термодинамическом законе излучения — в описании процесса, в котором атомная структура вещества и квантовая структура излучения изменены до неузнаваемости взаимодействием бессчётного количества частиц. Но исходя из контекста своего появления, и в соответствии с порядком величины, постоянная h должна быть атомной константой.

Поэтому Эйнштейн в 1905 г. совершил дерзкий шаг, всерьёз применив концепцию светового кванта, или фотона, к настоящим атомным процессам. Проблема была связана с т. н. фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом), который исследовал ещё Г. Герц и другие. Если металлическую пластину облучать ультрафиолетовым

светом, пластина будет испускать электроны. Как ни странно, сила, с которой электроны вырываются из пластины, не зависит от интенсивности излучения, а зависит только от его цвета, т. е. частоты ν ; она растёт с ростом ν . Интенсивность влияет лишь на количество электронов, высвобождаемых за единицу времени. Здесь мы уже имеем дело с атомным процессом, который крайне упорно сопротивлялся попыткам объяснения в рамках волновой теории света. Очевидно, энергия света, падающего на атом, используется для вырывания электрона из атомного единства, а также для сообщения ему кинетической энергии. Однако в случае, если интенсивность падающего света мала, энергии световой волны, выбивающей электрон, далеко не достаточно для произведения такого эффекта; даже если вообразить, что внутри атома существует механизм, который постоянно вытягивает энергию из световой волны и запасает её в атоме, должны пройти часы, прежде чем электроны смогут начать покидать пластину. В реальности же эффект начинается мгновенно. Но если считать, что свет состоит из отдельных фотонов с энергией $h\nu$, то, столкнувшись с атомом и выбив из него электрон, фотон может отдать ему свою собственную энергию в виде кинетической энергии. Тогда последняя, в полном согласии с опытом, зависела бы только от ν и возрастала бы пропорционально ν . Интенсивность света определяет лишь плотность фотонного града. Ток, производимый электронами, можно измерить, применив сдерживающий их антипотенциал V . Электрон с зарядом e , проходя разность потенциалов V , совершает работу eV . Согласно теории Эйнштейна, ток должен исчезать, как только потенциал превысит значение $V = \frac{h}{e}\nu$. Лишь спустя десятилетие развитие экспериментальной техники в руках Р. Э. Милликена позволило произвести решающие измерения. Выяснилось, что предельный потенциал V действительно пропорционален частоте ν падающего света и что константа пропорциональности имеет значение h/e , т. е. равна частному кванта действия h , известного из закона излучения Планка, и элементарного заряда e , найденного в ходе других исследований. И наоборот, катодная трубка, в которой электроны летят от катода к аноду, преодолевая разность потенциалов V , испускает только такие рентгеновские лучи, частота которых ниже предела, полученного из уравнения Эйнштейна $\nu = \frac{e}{h}V$; в этом месте непрерывный рентгеновский спектр трубки имеет острый край. Таким образом, опытные данные подтверждают, что энергия излучения с частотой ν передаётся и принимается только квантами размера $h\nu$.

Тем временем Нильс Бор (1913) взял то же правило за основу теоретического нахождения спектров. Казалось, что пароль к атомной теории найден. Милликен начинает свой доклад «Последние достижения в спектроскопии», прочитанный в 1927 г. перед Американским философским обществом, словами: «Никогда в истории науки не было скачка в представлениях, совершённого так внезапно из состояния полной неясности и невразумительности к ситуации полной ясности и предсказуемости, как это было в области спектроскопии в 1913 году». Согласно классической электродинамике, атом, вследствие происходящих внутри него электронных движений, должен непрерывно излучать; через это излучение он теряет энергию, следовательно, процесс движения изменяется, а вместе с ним смещаются и излучаемые частоты. При этом совершенно неясно, как следует понимать неизменяемые постоянные свойства атомов; например, существование чётких, воспроизводимых раз за разом спектральных линий. Теория Бора предполагает, что электроны могут двигаться по определённым стационарным орбитам, в которых они не излучают. Соответственно, атом находится на определённых энергетических уровнях E_1, E_2, \dots . Свет испускается при переходе из одного стационарного состояния в другое; энергия, теряемая в этом процессе, — разность между энергетическими уровнями E_1, E_2 двух стационарных состояний — превращается в световой квант $h\nu$; следовательно, частота ν спектральной линии испускаемого света определяется из уравнения

$$h\nu = E_1 - E_2.$$

При поглощении происходит обратный процесс.

Это правило немедленно объясняет комбинационный принцип Ритца—Ридберга, который был выведен на основе огромного количества эмпирических данных; он утверждает, что вместе с частотами

$$\nu(i \rightarrow k) = \frac{1}{h}(E_i - E_k) \quad \text{и} \quad \nu(k \rightarrow l) = \frac{1}{h}(E_k - E_l)$$

в спектре всегда содержится и «комбинированная» частота

$$\nu(i \rightarrow l) = \frac{1}{h}(E_i - E_l) = \nu(i \rightarrow k) + \nu(k \rightarrow l).$$

Теория Бора дала также правило, применимое во многих случаях, для определения энергетических уровней; но она представляла собой явственный компромисс. И всё же таким путём удалось полностью интерпретировать ряд формул для спектра водорода и установить связь между эмпирическими константами и фундаментальными

ми атомными константами — зарядом и массой электрона, скоростью света и квантом действия. Впоследствии более точные эксперименты всякий раз лишь подтверждали эту связь всё более точно.

Таким образом, свет, с одной стороны, очевидным образом проявлял себя как волновой процесс, а с другой, в атомных явлениях демонстрировал, что он состоит из отдельных квантов, фотонов, энергетическое содержание ϵ которых связано с частотой ν волны соотношением $\epsilon = h\nu$. Наоборот, в связи с тем, что при прохождении через кристаллы электронных лучей наблюдается такая же интерференция, как в случае рентгеновских лучей, Дэвиссон и Джермер в 1926 г. обнаружили волновые свойства у электронов, которые, в конце концов, несомненно, являются частицами. Эти опыты уже проводились, когда Гейзенберг, Л. де Бройль и Шрёдингер пришли к новой концепции квантовой механики. Гейзенберг заметил тот компромисс, с помощью которого Бор определил энергетические уровни, правилом, идеально согласующимся с комбинационным принципом Ритца—Ридберга для частот; однако для этого пришлось полностью отказаться от интуитивного представления об электронных орбитах в атоме и разработать новый математический аппарат — алгебру матриц. Де Бройль и Шрёдингер, со своей стороны, показали, как с каждой частицей следует связать волну, способную интерферировать, которая управляет поведением этой частицы. Вскоре было установлено полное согласие обеих теорий, изначально выглядевших настолько различными. Что касается физической интерпретации полученного в результате вычислительного аппарата, особого упоминания достойны М. Борн и Дирак.

Проблема состояла в том, чтобы понять эту двойственную природу света, а также элементарных составляющих вещества — как можно быть волной, способной интерферировать, и в то же время внезапно наносить удары здесь и там, подобно дискретному кванту. В атомных явлениях эта двойственность встречается повсеместно. Решение можно пока, наверное, описать довольно общим образом так: взяв за основу волновую теорию, мы используем зависящую от пространства и времени функцию состояния ψ , которой она оперирует, и линейные дифференциальные уравнения, которым ψ удовлетворяет и которые согласуются с принципом причинности. Однако интерпретируем мы эту теорию по-другому. Величину ψ^2 , которая фигурирует в волновой теории как интенсивность волны в данной точке и которая зависит от ψ квадратичным образом, следует рассматривать как (относительную) вероятность того, что

частица, фотон или электрон, находится в этой точке в данный момент времени. Или, точнее, как относительную вероятность того, что частица находится в малом элементе объёма вокруг этой точки, размер которого считается одинаковым во всех точках. Вероятность события можно установить эмпирически, лишь совершая большое число экспериментов и беря частоту, с которой искомое событие встречается среди них. Вероятность рождения мальчика находится из относительной частоты, с которой рождения мальчиков представлены среди всех рождений. Стало быть, наша концепция такова: функция ψ соответствует некоторому состоянию фотона или электрона. Однако в этом состоянии фотон не обязан находиться в определённой точке: каждый раз заново производя фотон в этом состоянии, мы обнаруживаем, что он находится то здесь, то там, и не имеем возможности предсказать его поведение более точно. Зная состояние, мы можем предсказать лишь вероятность — относительную частоту, с которой мы будем обнаруживать его в той или иной точке, повторяя эксперимент очень большое число раз. При этом не следует забывать, что вероятность определяет частоту события в большом числе экспериментов лишь с точностью до некоторого фактора неопределённости. Вполне может случиться, что в какой-то последовательности экспериментов частота заметно отклоняется от априорной вероятности. Таким образом, мы не знаем и не можем знать, что делает отдельный фотон или электрон в данных обстоятельствах; мы можем только предсказать, с присущей статистике неопределённостью, их среднее поведение в тех же обстоятельствах. Здесь важно, повторяем ли мы один и тот же эксперимент вновь и вновь с одним и тем же фотоном или же подвергаем экспериментальным условиям большой пучок фотонов одновременно; ибо фотоны пучка могут оказывать влияние друг на друга. Более того, квантовая теория показывает, что их поведение ни в коем случае не соответствует поведению статистически независимых частиц. Однако для упрощения понимания и изложения мы будем говорить о таком пучке фотонов, а не об эксперименте, осуществляемом вновь и вновь с отдельными фотонами. Тогда вероятность предстаёт просто как пространственная плотность фотонов.

Заявление о том, что о фотонах мы ничего не знаем и ничего не можем знать, кроме их статистического поведения при многократном повторении эксперимента в одинаковых условиях, было несколько вызывающим. Но ключевая черта новой квантовой физики именно в том и состоит, что она не допускает возможности

дополнить нашу теоретическую картину так, чтобы получить из законов природы больше информации об отдельном электро-не; она не позволяет рассматривать наше волновое уравнение как лишь часть полных точных законов, которые точно определяют поведение фотона, помещённого в те или иные точные условия. Для иллюстрации этого обстоятельства мы сравним новую квантовую физику со старой статистической физикой.

Проникновение статистики в физику насчитывает уже более столетия. Сначала оно произошло в кинетической теории газов, разработанной Даниилом Бернулли и доведённой до совершенства в XIX веке Максвеллом и Больцманом. В 3 г водорода содержится около 10^{24} беспорядочно движущихся молекул. Разумеется, на практике невозможно, исходя из механических законов кинематики, точно рассчитать движение, совершаемое ими под влиянием сил, с которыми воздействуют на них стенки сосуда и другие молекулы. К тому же, вовсе не это интересует нас в первую очередь. Для наблюдения важны и доступны лишь некоторые средние значения; так, например, средняя кинетическая энергия молекул газа определяет его температуру, соударения молекул со стенками, или средний импульс, передаваемый таким образом стенкам, определяет давление. И теория вероятностей позволяет вычислять подобные средние значения, не отслеживая движение бесчисленных молекул по отдельности. Но кроме среднего значения величины она сообщает также, какое среднее отклонение следует ожидать от этого среднего значения. Например, моментальные колебания плотности воздуха при случайном беспорядочном движении его молекул, отклоняя солнечный свет, заставляют дневное небо казаться голубым, а не чёрным. Таким образом, сколь бы незначительными ни были отдельные колебания, все вместе они дают наблюдаемый эффект. Именно на такие колебательные явления прежде всего опирается статистическая концепция. Благодаря усилиям Больцмана и Максвелла стало ясно, что никакие понятия и законы, относящиеся к термодинамическому поведению вещества, не являются точными — это средние значения и статистические регулярности, содержащие некоторую неопределённость. Общее эпистемологическое отношение к статистической физике поначалу однозначно сводилось к тому, что теория вероятностей — это лишь средство, позволяющее срезать путь к некоторым следствиям точных законов движения; в действительности же, как считалось, эти законы управляют процессами вплоть до мельчайших подробностей. Так,

например, многие пытались доказать, исходя из классической механики, что отношение интервалов времени, в которые состояние газа ощутимо отклоняется от термодинамического равновесия, к общему периоду наблюдения стремится к нулю в пределе для бесконечно долгого наблюдения.

В противоположность этому, статистическая неопределённость, присущая утверждениям квантовой теории о наблюдаемых процессах, носит принципиальный характер. Невозможно точно описать соответствующий процесс в пространстве-времени так, чтобы наши статистические утверждения оказались неполными выводами из точных законов. Я хотел бы начать с иллюстрации этого тезиса на примере поляризации света. Все световые кванты в монохроматическом прямолинейном пучке света имеют одну и ту же строго определённую энергию $h\nu$ и один и тот же импульс. Пропуская пучок через призму Николя, находящуюся в некотором положении s (это направление в пространстве, ортогональное направлению распространения света), мы навязываем ему также определённое направление поляризации. Поскольку каждый световой квант либо пройдёт через призму, либо нет, на языке световых квантов это явление описывается следующим образом. Световому кванту приписывается величина p , зависящая от положения s призмы Николя, которая равна $+1$ или -1 в соответствии с тем, пройдёт квант через эту призму или нет. Основные положения представляются гораздо более наглядно в случае таких характеристик состояния, которые могут принимать только два значения, в отличие от прочих встречающихся в физике величин, таких, как, например, положение протона, которое изменяется непрерывно. Поляризованная монохроматическая плоская световая волна обладает максимально достижимой степенью однородности. И всё же мы видим, что, проходя через вторую призму Николя, находящуюся в положении s' , отличном от s , этот однородный пучок вновь расщепляется на переданный и отражённый луч. Относительные интенсивности этих лучей находятся в простой зависимости от угла между направлениями s и s' ; это вероятности того, что для светового кванта с $p = 1$ величина p' равна $+1$ или -1 . Можно было бы надеяться, что луч, прошедший через вторую призму, состоит из фотонов, для которых $p = 1$ и $p' = 1$. Но это противоречит заявлению, что однородность монохроматической поляризованной световой волны невозможно увеличить. И в действительности мы обнаруживаем, что этот свет имеет ровно ту же природу, что и свет, прошедший лишь через

вторую призму, но не через первую. Таким образом, вторая призма разрушает результат отбора $p = 1$, осуществлённого первой призмой. Говорить о величине p для светового кванта имеет смысл, потому что существует метод, позволяющий определить её значение, которое равно ± 1 . Аналогичным образом мы можем говорить о величине p' . Но не имеет смысла спрашивать о значениях, принимаемых для фотона величинами p и p' одновременно, потому что измерение величины p' или выделение фотонов с $p' = +1$ лишает нас возможности измерить p или выделить фотоны с $p = 1$.

Эта невозможность не есть следствие человеческого несовершенства, она носит принципиальный характер. Поясним её ещё на одном примере. Атом серебра обладает некоторым магнитным моментом, это крошечный магнит определённой силы и направления, который можно изобразить стрелкой — вектором m магнитного момента. Компонента m_z этого вектора в данном пространственном направлении z , например вертикальном, равна ортогональной проекции вектора m на направление z . Оказывается, величина m_z может принимать лишь два значения, которые отличаются только знаком и могут считаться равными ± 1 при измерении в специальных единицах — магнетонах. Применяя магнитное поле, неоднородное в направлении z , и пропуская через него пучок таких атомов, удаётся выделить из него два составляющих пучка, для которых величина m_z равна $+1$ и -1 соответственно. Это знаменитый эксперимент, впервые проведённый Штерном и Герлахом. Но то, что было сказано для направления z , верно для компоненты в любом случайном пространственном направлении! Однако вектор, компоненты которого в любом направлении могут принимать лишь значения ± 1 , геометрически невозможен. Решение, предлагаемое квантовой теорией, состоит в следующем: если компоненту m_z отбором заставили принять конкретное из двух значений, то оставшиеся компоненты определить уже нельзя, можно указать лишь вероятности, с которыми они принимают возможные значения ± 1 .

Здесь мы сталкиваемся с неожиданным ограничением принципа, развитого в третьей лекции, — что результат измерения, осуществлённого с помощью взаимодействия, рассматривается как свойство, присущее самому наблюдаемому телу, если он не меняется при изменении условий взаимодействия; при этом предполагалось, что тело каждый раз вступает во взаимодействие в одном и том же состоянии. Такие свойства, как «красный» или «круглый», непосредственно данные в интуиции, можно содержательно соеди-

нить союзом «и» с образованием нового сложного свойства «красный и круглый». Квантовая теория учит, что для тех физических атрибутов, которые определяются только при помощи вмешательств и взаимодействий на основе постулируемых законов природы, это не так. Ибо может случиться, что осуществление взаимодействия, необходимого для измерения первого атрибута, делает измерение второго в принципе невозможным. Здесь нас весьма настоятельно предостерегают от того, чтобы чересчур беззаботно уноситься из реальности в сферу «возможностей».

Классическая физика требовала обеспечить условия, гарантирующие максимальную степень однородности; при этом предполагалось, что в них любая интересующая нас физическая характеристика принимает корректно определённое значение, которое всегда будет одним и тем же в одних и тех же условиях. Квантовая механика также требует от экспериментатора выделения «чистого состояния», однородность которого увеличить уже нельзя. В случае света это плоский монохроматический поляризованный пучок. Но идеал классической физики здесь недостижим. Нельзя спрашивать, какое значение принимает физическая величина в данном чистом состоянии, — можно интересоваться лишь тем, какова вероятность, что в данном чистом состоянии она будет иметь данное значение. Критерий того, достигнута ли максимальная степень однородности, одинаков как в классической, так и в квантовой физике. При создании экспериментальных условий B некоторые физические величины раз за разом принимают одно и то же значение, т. е. условия B определяют значения этих величин. Экспериментальные условия B' обеспечивают большую степень однородности, если любая физическая величина, которая определяется условиями B воспроизводимым образом, однозначно задаётся также и условиями B' , причём соответствующие значения совпадают, и при этом существуют физические величины, которые фиксируются экспериментальными условиями B' , но не B .

Можно было бы прибегнуть к такой уловке: сказать, что волновое поле, управляемое строгими законами, есть нечто реальное. Насколько это неверно, сразу же демонстрирует следующее соображение: имея дело с двумя электронами, мы можем интересоваться вероятностью того, что один из них находится в точке с координатами (x_1, y_1, z_1) , а другой — в точке с координатами (x_2, y_2, z_2) . Тем самым, волновая функция ψ , задающая эту вероятность, должна быть функцией двух положений в пространстве $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2$; иными

словами, волна в этом случае распространяется не в обычном трёхмерном пространстве, а в пространстве шестимерном. Чем больше добавляется частиц, тем сильнее возрастает размерность пространства, в котором разворачивается волновой процесс де Бройля. Одно это демонстрирует, что волновое поле есть лишь теоретическая подструктура. И — ключевой момент — никто не отменял тот факт, что это волновое поле задаёт наблюдаемые величины лишь в том же смысле, в каком априорные вероятности задают статистические частоты; из их связи принципиально невозможно исключить неопределённость.

Я должен попытаться описать ситуацию немного точнее и с этой целью вернуться к примеру с фотонами, уже упомянутому выше. Возьмём один-единственный фотон, обладающий определённой поляризацией o . Его состояние представляется некоторой плоской волной — решением электромагнитных уравнений Максвелла. Согласно принципу суперпозиции, которому подчиняются волны, её можно рассматривать как линейную суперпозицию двух волн, поляризованных в направлениях α и $90^\circ + \alpha$, — точно так же, как данный вектор можно рассматривать как сумму двух перпендикулярных векторов. В реальности также можно, с помощью подходящего инструмента — поляризатора, — разложить однородный пучок света, поляризованный в направлении o , на два пучка с углами поляризации α и $90^\circ + \alpha$. Что происходит при этом с отдельным фотоном? Согласно волновой картине, он одновременно находится в обоих состояниях поляризации, с относительными интенсивностями $\cos^2 \alpha$ и $\sin^2 \alpha$. Но наблюдение, естественно, показывает, что фотон находится либо целиком в одном пучке, либо целиком в другом; ибо фотон — это нечто неделимое, и наблюдение, разумеется, право. Однако если повторить эксперимент, то обнаружится, что фотон, пройдя через поляризатор, оказывается то в одном пучке, то в другом, и предсказать, что произойдёт в каждом конкретном случае, невозможно; но при очень большом числе N повторений он примерно $N \cos^2 \alpha$ раз оказывается в состоянии поляризации α и примерно $N \sin^2 \alpha$ раз в состоянии поляризации $90^\circ + \alpha$. Следует отказаться от интуитивного пространственно-временного описания того, что происходит с фотоном; но волновой картины квантовой теории достаточно, чтобы предсказать, чего следует ожидать от действительных наблюдений и измерений.

Или обратимся ещё раз к примеру, которым я в начале этой лекции иллюстрировал провал ньютоновской корпускулярной теории

света, — к явлению интерференции. Сразу же станет ясно, насколько отличается от неё квантовая теория фотонов. Произвольным образом разложим монохроматический пучок света на две компоненты равной интенсивности и заставим их интерферировать между собой. Следуя волновой картине, квантовая теория говорит, что после разложения каждый фотон принадлежит, так сказать, частично одной, а частично другой компоненте; каждый фотон интерферирует только сам с собой. Следовательно, измерение, позволяющее установить принадлежность фотонов одному или другому пучку, — измерение энергии одного пучка — неизбежно лишает компоненты возможности интерферировать. Это идеально согласуется с фактами. Относительные частоты волнового поля в различных точках пространства дают нам вероятность, с которой можно ожидать фотон в той или иной точке. В этом смысле можно сказать, что природа следует волновой картине до тех пор, пока её оставляют в покое, не докучая назойливым наблюдением. Но если мы суём в неё свой нос, если мы хотим знать, находится ли фотон в той или другой компоненте, то мы разрушаем интерференцию и всё схлопывается.

Отсюда мы заключаем следующее.

1. *От неопределённости нельзя избавиться.* Ибо, фотон, прошедший через поляризатор, можно обнаружить либо в одном, либо в другом пучке. Этой дискретной альтернативе противостоит тот факт, что состояния фотона образуют непрерывное многообразие, как следует из их способности к суперпозиции. Если промежуточных вариантов нет, перебросить непрерывный мост над этим или — или кажется возможным лишь в следующем смысле: существует вероятность p или $1 - p$ для одного и другого случая соответственно, которая непрерывно меняется от 0 до 1 в зависимости от состояния. В согласии с этим, математическая схема квантовой физики не оставляет лазейки, позволяющей надеяться на то, что картина может быть когда-нибудь дополнена таким образом, чтобы строго причинно описывать процессы во всех подробностях.

2. *Наблюдение неизбежно связано с резким неконтролируемым вмешательством.* Тем самым, попытка увидеть «объективное явление» каждый раз срывается. До тех пор, пока мы не пронаблюдали фотон в той или другой из двух компонент, его состояние представляется волной, в которой обе компоненты присутствуют с некоторыми относительными интенсивностями. Как только наблюдение дало конкретный результат, её, разумеется, следует заменить волной, представляющей только эту компоненту. В волновой кар-

тине, которая даёт описание физических процессов, позволяющее правильно предсказывать исходы наблюдений, самому наблюдению места нет. Ему соответствует, скорее, переход от волновой картины к её статистической интерпретации, к задаваемой ей вероятностям. В нашем примере я могу естественным образом включить в рассматриваемую физическую систему инструмент наблюдения и даже свой глаз, а также их взаимодействие с фотонами и построить квантовую картину всего этого агрегата и его состояния. Но это опять позволит лишь предсказывать исходы наблюдений, производимых теперь уже над всей этой системой целиком, внутри которой предыдущее наблюдение стало ненаблюдаемым действительным процессом. По мере того, как разум проникает всё глубже, чтобы воспользоваться процессами как наблюдениями с целью их интерпретации, они перестают подчиняться точным законам и теряют управляемость. Если же, наоборот, мы пытаемся отвязать реальный мир от наблюдений, нам остаётся лишь математическая схема. Квантовая физика неизбежно приходит к этому ключевому пониманию взаимоотношений субъекта и объекта. Подобные заявления ещё раньше нередко раздавались со стороны философов. От них физику отличает чёткая, математически точная форма, в которой эта идеалистическая точка зрения находит выражение в физической теории. Можно сказать, что в воссоздаваемой физикой картине мира дуализм объекта и субъекта, закона и свободы заранее встроен в природу недвусмысленным образом.

Нильс Бор недавно собрал четыре своих эссе в книгу под названием «Теория атома и принципы описания природы», в которой, на осторожном языке, доступном обывателю, он прощупывает ситуацию, постепенно выявленную квантовой теорией; если кому и заниматься этим, то именно Бору, который стоял во главе её развития и который ни на какой стадии не позволял себе обмануться успехами, достигнутыми в решении оставшихся фундаментальных трудностей. Я горячо рекомендую эти лекции к вашему прочтению. И хотел бы позаимствовать у Бора заключительные слова для своей последней лекции:

Оправданием вторжению физика в подобные вопросы [такие, как отношение субъекта и объекта], по-видимому, может служить то обстоятельство, что возникшая в физике новая ситуация столь убедительно напоминает старую истину: все мы являемся одновременно свидетелями и участниками великой картины бытия.

Оглавление

Предисловие	3
Временные соотношения в космосе, собственное время, прожитое время, метафизическое время	5
Открытый мир. Три лекции о метафизическом значении науки	11
Разум и природа	67