

PHILOSOPHICAL
PROBLEMS OF
SPACE AND TIME

Adolf Grünbaum

Andrew Mellon Professor of Philosophy
UNIVERSITY OF PITTSBURGH

NEW YORK
Alfred A. Knopf
1963

А. Грюнбаум

ФИЛОСОФСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ
ПРОСТРАНСТВА
И ВРЕМЕНИ

Перевод с английского
канд. философ. наук *Ю. Б. Молчанова*

Общая редакция и послесловие д-ра философ. наук
Э. М. Чудинова

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС»
Москва 1969

Редакция литературы по вопросам философии и права

1-5-2

2—69

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Президент международной Ассоциации философии науки, профессор философии Питтсбургского университета (США) Адольф Грюнбаум является известным специалистом по современным учениям о пространстве и времени, а также теории относительности. В своих работах он рассматривает те изменения, которые внесены теорией относительности Эйнштейна в наши представления о сущности пространства и времени. Свой анализ он связывает как с предысторией вопроса, так и с современными естественнонаучными и философскими дискуссиями по данной проблематике.

Грюнбаума интересуют не только вопросы, поставленные теорией относительности, но и более широкие теоретические проблемы, связанные с выяснением объективного содержания и физического обоснования таких фундаментальных понятий, которые выражают метрические и топологические свойства пространства и времени. Это прежде всего вопросы установления метрики пространственно-временных многообразий, проблема направления, или анизотропии времени, анализ содержания и выяснение обоснованности причинной теории времени, проблема объективного статуса становления во времени, или течения времени, и др. Этот анализ дополняется рассмотрением некоторых методологических проблем современной теории научного знания, связанных с установлением истинности и эвристической значимости научных теорий.

Для Грюнбаума характерно солидное естественнонаучное обоснование выдвигаемых им соображений и глубокое знание многих тонкостей обсуждения этих вопросов в западной литературе по философии науки.

Хотя с отдельными положениями, которые отстаивает автор, такими, как вопрос о статусе конвенционализма в развитии и обосновании научных теорий, вопрос об объективном смысле «становления во времени», советский читатель вряд ли согласится, а ряд положений (оценка причинной теории времени, установление объективных оснований необратимости времени, сопоставление различных способов синхронизации часов) заслуживает дополнительного обсуждения, общая тенденция автора при анализе философских проблем пространства и времени с полным основанием может быть оценена как материалистическая.

Книга, предлагаемая вниманию советского читателя, представляет собой исправленный и дополненный специально для русского издания перевод работы Грюнбаума, изданной в 1963 году в США, а в 1964 году — в Англии.

За последние два года А. Грюнбаумом опубликованы еще две книги: «Современная наука и апории Зенона» (1967) и «Геометрия и хронометрия в философской перспективе» (1968). Ряд новых идей автора, получивших развитие в этих книгах, нашел отражение в русском издании.

В переводе принимал участие Э. П. Андреев.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее русское издание «Философских проблем пространства и времени» существенно изменено по сравнению с американским изданием 1963 года. Особенно большие изменения внесены в главы 1, 4, 6, 7, 8, 10 и 12.

Некоторые основные идеи этой книги подробно критиковались Х. Патнэмом, профессором Гарвардского университета, в его очерке «Анализ философии геометрии Грюнбаума»¹.

Мой ответ на его критику объемом 150 страниц опубликован в «Бостонских исследованиях по философии науки»².

Адольф Грюнбаум

Питтсбург, Пенсильвания, США
Июль, 1968 год

¹ Hilary Putnam, An Examination of Grünbaum's Philosophy of Geometry, в: B. Baumrin (ed.), Philosophy of Science, The Delaware Seminar, Vol. 2, New York: Interscience Publishers, 1963, pp. 205—255.

² R. S. Cohen and M. W. Wartofsky (ed.), Boston Studies in the Philosophy of Science, D. Reidel Publishing Company, Dordrech, Holland, Vol. V, pp. 1—150.

ПРЕДИСЛОВИЕ К АМЕРИКАНСКОМУ ИЗДАНИЮ

Я многим обязан в развитии моих идей выдающейся работе Ганса Рейхенбаха «Философия пространства и времени»¹ и замечательной книге А. д'Абро «Эволюция научного мышления от Ньютона до Эйнштейна»².

Значительную помощь оказали мне также соображения и критические замечания многих моих коллег и друзей. Среди них мне хотелось бы отметить ученых, представителей конкретных наук, Питера Хевеса, Аллена Джениса, Сэмюэля Гулдена, Е. Л. Хилла и Альберта Вилански, а также философов Генри Мельберга, Уилфреда Селларса, Абнера Шимони, Гровера Максвелла, Герберта Фейгла, Хилари Патнэма, Пауля К. Файерабенда, Эриста Нагеля, Николаса Решера, Сиднея Моргенбессера и Роберта С. Коена. Плодотворный обмен мнениями с некоторыми из моих коллег оказался возможным благодаря творческим дискуссиям на сессиях Миннесотского центра по философии науки, директору которого Герберту Фейглу я весьма благодарен за помощь и поддержку.

Мне бы хотелось также выразить благодарность миссис Элен Фаррелл из Вифлеема (Пенсильвания) за перепечатку раннего наброска части рукописи и миссис Элизабет Мак-Мунн, понимание и добросовестность которой оказались неоценимыми при подготовке окончательного текста в печать. Я также многим обязан Ричарду К. Мартину

¹ «Philosophie der Raum-Zeit-Lehre», Berlin, 1928.

² «The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein», New York, 1950.

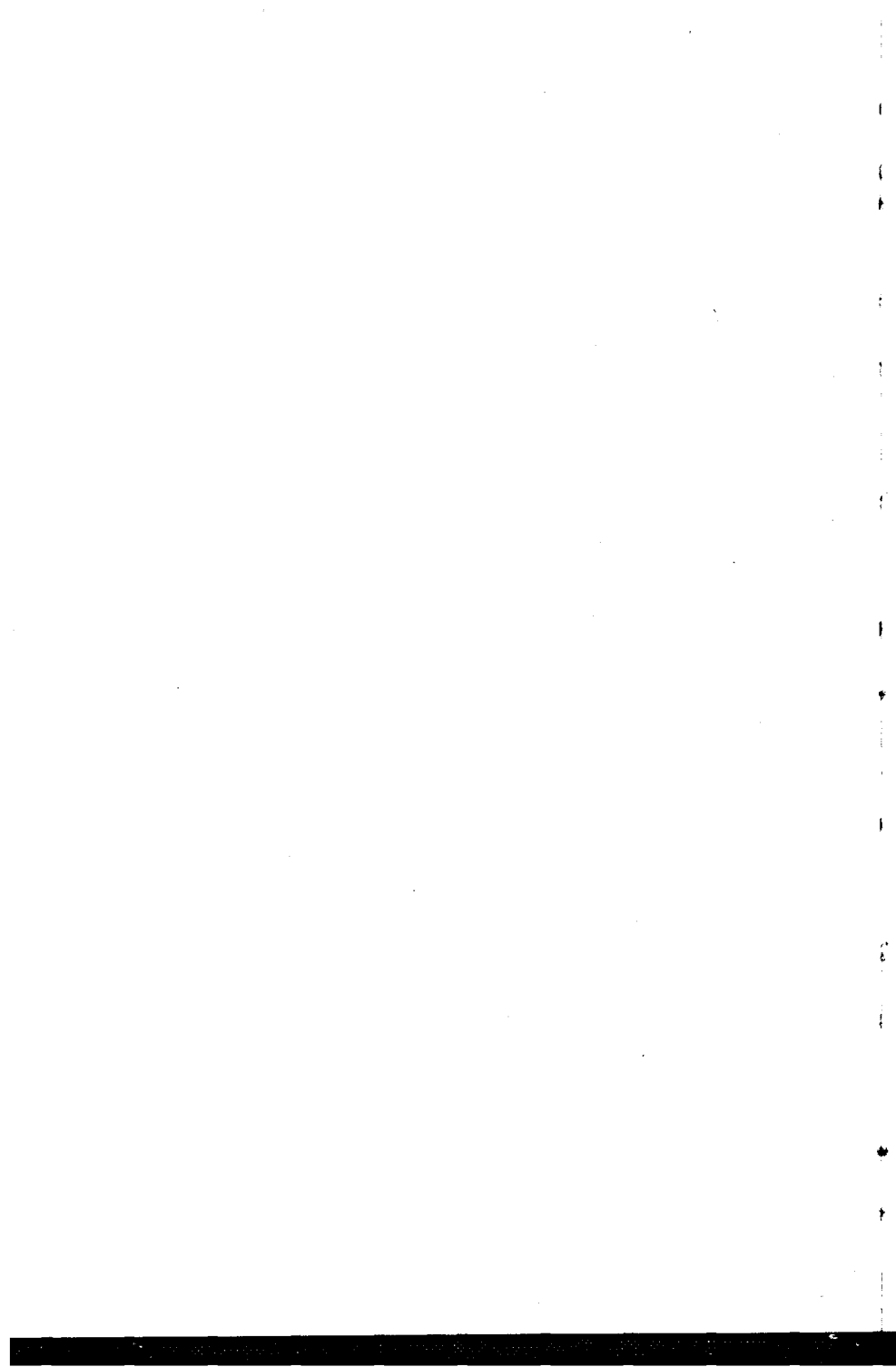
за помощь в подготовке указателя и вычерчивание диаграмм.

При работе над книгой я использовал материалы, опубликованные мною ранее¹, получив на это любезное разрешение редакторов и издателей, за что выражаю им свою благодарность.

¹ «Geometry, Chronometry and Empiricism», в: «Minnesota Studies in the Philosophy of Science» (ed. H. Feigl and G. Maxwell), Vol. III, Minneapolis, 1962, pp. 405—526, and «Carnap's Views on the Foundations of Geometry», в: P. A. Schilpp (ed.), The Philosophy of Rudolf Carnap, Open Court Publishing Company, LaSalle, 1963, pp. 599—684.

Часть I

**ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТРИКИ
ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ**



ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ КОНГРУЭНТНОСТЬ В ФИЗИКЕ. КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗГЛЯДОВ НЬЮТОНА, РИМАНА, ПУАНКАРЕ, ЭДДИНГТОНА, БРИДЖМЕНА, РАССЕЛА И УАЙТХЕДА

Метрическое сравнение отдельных пространственных и временных интервалов, необходимое в геохронометрии, подразумевает использование твердых стержней или изохронных часов. Представляет ли это использование переносного стандарта конгруэнтности, с которым могут быть соотнесены отдельные интервалы, простое выяснение другим способом внутреннего равенства или неравенства этих интервалов? Или же обращение к стандарту конгруэнтности логически необходимо для подлинного существования этих отношений? Точнее говоря, перед нами стоят следующие проблемы:

1. Какова гарантия, что твердое тело останется твердым, или самоконгруэнтным, при перемещении в пространстве, свободном от неоднородных тепловых, упругих, электромагнитных и других «деформирующих» и «искажающих» воздействий? Нивелирующая в геометрическом отношении характеристика тепловых и других неоднородностей в пространстве как «деформирующих» и «возмущающих» обязана тому факту, что совпадение перемещаемых жестких стержней зависит от их химического состава; *mutatis mutandis* это относится и к ходу часов.

2. Каковы основания для утверждения, что часы, не подверженные описанным выше внешним воздействиям, изохронны, то есть отмечают равную длительность конгруэнтных временных интервалов?

В этой главе нас будут интересовать эти два вопроса и дальнейшие философские выводы из них. Мы попытаемся дать ответы на них в ходе критического обсуждения соответствующих соперничающих концепций ряда выдающихся

мыслителей. В четвертой главе мы рассмотрим дальнейшие проблемы, связанные с выяснением поправок, соответственно компенсирующих деформации стержней и изменения скорости хода часов, которые используются в геохронометрических целях при наличии возмущающих воздействий.

А. Ньютон

В «Началах»¹ Ньютон выдвинул тезис о метрике, внутренне присущей пространству как «вместилищу», и аналогичное положение в отношении абсолютного времени.

Время, пространство, место и движение составляют понятия общеизвестные. Однако необходимо заметить, что эти понятия обыкновенно относятся к тому, что постигается нашими чувствами. Отсюда происходят некоторые неправильные суждения, для устранения которых необходимо вышеприведенные понятия разделить на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные...² Однако совершенно невозможно ни видеть, ни как-нибудь иначе различить при помощи наших чувств отдельные части этого пространства одну от другой, и вместо них приходится обращаться к измерениям, доступным чувствам. По положениям и расстояниям предметов от какого-либо тела, принимаемого за неподвижное, определяем места вообще, затем и о всех движениях судим по отношению к этим местам, рассматривая тела лишь как переносящиеся по ним. Таким образом вместо абсолютных мест и движений пользуются относительными; в делах житейских это не представляет неудобства, в философских необходимо отвлечение от чувств. Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих...³ засоряют математику и физики и те, кто смешивает самые истинные количества с их отношениями и их обыденными мерами⁴.

1. *Абсолютное*, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно⁵ и иначе называется длительностью.

¹ И. Ньютон, Математические начала натуральной философии, в: «Собрание трудов академика А. Н. Крылова», т. VII, 1936. Далее везде даются ссылки на это издание.— *Прим. ред.*

² Там же, стр. 30.

³ Там же, стр. 32.

⁴ Там же, стр. 36.

⁵ Это ньютоновское понимание «равномерности» (то есть конгруэнтности) временных интервалов будет подвергнуто в дальнейшем критическому рассмотрению, и его несостоятельность обосновывается в настоящей главе. Ниже, в главе десятой, мы выскажем соображения для подобного отказа от точки зрения Ньютона, согласно

Относительное, кажущееся или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год.

II. *Абсолютное пространство* по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное: так, например, протяжение пространств подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли. По виду и величине абсолютное и относительное пространства одинаковы, но численно не всегда остаются одинаковыми. Так, например, если рассматривать Землю неподвижной, то пространство нашего воздуха, которое по отношению к Земле остается всегда одним и тем же, будет составлять то одну часть пространства абсолютного, то другую, смотря по тому, куда воздух перешел, и следовательно, абсолютно сказанное пространство беспрерывно меняется¹.

Абсолютное время различается в астрономии от обыденного солнечного времени уравнением времени. Ибо естественные солнечные сутки, принимаемые при обыденном измерении времени за равные, на самом деле между собою неравны. Это неравенство и исправляется астрономами, чтобы при измерениях движений небесных светил применять более правильное время. Возможно, что не существует (в природе) такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться с совершенной точностью. Все движения могут ускоряться или замедляться, течение же абсолютного времени изменяться не может. Длительность или продолжительность существования вещей одна и та же, быстры ли движения (по которым измеряется время), медленны ли или их совсем нет, поэтому она надлежащим образом и отличается от своей доступной чувствам меры, будучи из нее выводимой при помощи астрономического уравнения².

Для Ньютона фундаментальными положениями являются следующие: 1) идентичность точек в физическом пространстве-вместилище, где расположены тела, и тождественность мгновений времени, которое также является вместилищем, где происходят физические события, автономны и непроеизводны; физические тела и события не определяют своей тождественностью точки и интервалы, которые представляют их местоположение или местоположение других

которой понятие «течение» применимо для обозначения физического времени, как отличного от времени психологического.

¹ И. Н ь ю т о н, Математические начала..., стр. 30—31.

² Там же, стр. 31—32.

тел и событий, и 2) пространство и время как вместилища обладают каждое своей *внутренне присущей им* конгруэнтностью, существование которой совершенно независимо от существования материальных стержней и часов во вселенной; последние являются инструментами, и их функция, в лучшем случае чисто эпистемологическая, связана с возможностью установить внутренние конгруэнтные отношения в окружающем пространстве и времени. Таким образом, к примеру, даже когда часы в отличие от вращающейся Земли идут равномерно, с одинаковой скоростью, это периодическое устройство только регистрирует, но вовсе не определяет временную метрику. И поэтому Ньютон отрицает *реляционную (relational)* теорию пространства и времени, утверждающую, что: а) тела и события прежде всего определяют (придают индивидуальность) точки и расстояния посредством их отождествления, тем самым позволяя им быть местом других тел и событий, и б) не обладая внутренней метрикой, физические пространство и время метрически аморфны; при этом теория явно или молчаливо апеллирует к телам, которые прежде всего должны определять соответствующие им метрики.

Конечно, Ньютон также возражал бы, и весьма основательно, против любой идентификации или изоморфизма абсолютного пространства и времени, с одной стороны, и психологического пространства и времени (сознания), метрика которого определяется зрительной конгруэнтцией и психологической оценкой деятельности, — с другой. Однако, если предположить вместе с Нортропом¹, что относительное видимое и обыденное пространство и время, которые Ньютон противопоставлял абсолютному истинному и математическому пространству и времени, суть индивидуальное зрительное пространство и субъективное психологическое время непосредственного чувственного опыта, то упускается из виду существенный момент. Ибо Ньютон недвусмысленно показывает, как видно из приведенной цитаты, что его относительные пространство и время действительно являются обыденными пространством и временем, которые определяются системой отношений между материальными телами и событиями, а не эгоцентрически индивидуальными пространством и временем отдельного опыта.

¹ F. S. C. Northrop, *The Meeting of East and West*, New York: The Macmillan Company, 1946, pp. 76—77.

«Постигаемые чувствами» меры, которые Ньютон рассматривает как основополагающие для «относительных» пространства и времени, обеспечиваются (обычными) телами, с которыми имеют дело физики, а вовсе не зрительной конструкцией человеческого видения и психологической оценкой деятельности, зависящей от настроения человека. Эта интерпретация Ньютона полностью подтверждается следующими его утверждениями:

1) «По виду и величине абсолютное и относительное пространства одинаковы». Это положение несовместимо с интерпретацией Нортропом *относительного* пространства как «непосредственного чувственно воспринимаемого протяжения и отношения между чувственно воспринимаемыми данными (которое является чисто индивидуальным пространством, изменяющимся в зависимости от астигматизма или четкости зрения субъекта)»¹.

2) По Ньютону, примером только «относительного» времени являлась «точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя... мера продолжительности», такая, как «час, день, месяц, год»². Он добавляет, что наблюдаемое время, используемое как мера времени, основывается на обычных сутках, которые «в действительности неравны», причем истинное равенство достигается благодаря астрономическим поправкам, компенсирующим неравномерность вращения Земли, обусловленную приливным трением и т. п.³. Однако Нортроп ошибочно принял ньютоново относительное время за «непосредственно чувственно воспринимаемое время», «которое изменяется от индивида к индивиду и которое даже для одного индивида при одних обстоятельствах течет очень быстро, а при других — крайне медленно», и неверно утверждал, что Ньютон отождествил с абсолютным временем обыденное время, «на котором основывается наше обычное время, используемое обществом».

3) Ньютон иллюстрирует *относительное* движение ссылкой на кинематическое отношение между телом на движущемся корабле, кораблем и Землей, причем эти отношения определяются, как обычно в физике, не прибегая к феноменологическому пространству и времени.

¹ F. S. C. Northrop, *The Meeting of East and West*, p. 76.

² И. Ньютон, *Математические начала...*, стр. 30.

³ Логический статус критерия равномерности, который молчаливо подразумевается здесь, будет обсужден во второй главе.

Нортроп в сущности прав, когда он настаивает на том, что теоретическое новаторство Эйнштейна в теории относительности было бы невозможно, если бы теория излагалась в той наивной форме, когда не проводится различие между физически всеобщими и индивидуальными, или эгоцентрически чувственно воспринимаемыми, пространством и временем. Вместе с тем неправильная интерпретация Нортропом ньютоновских «относительных» пространства и времени мешает ему обратить внимание на то, что философский тезис Эйнштейна можно охарактеризовать, образно говоря, как провозглашение именно реляционной концепции пространственно-временной структуры, на которую Ньютон стремился наложить запрет путем применения таких неопределенных понятий, как «относительное», «кажущееся» и «обыденное».

Б. Риман

Краткое напоминание об идеях некоторых философских предшественников Римана в качестве исторического фона будет полезной предпосылкой подробного рассмотрения его доктрины о конгруэнтности, присущей континууму пространства и времени.

В средние века Роберт Гроссетесте и другие участники Оксфордской школы натурфилософии рассматривали попытки вывести теорему Пифагора из гипотезы о возможной дискретности физического пространства или, выражаясь современным языком, исходя из того, что пространство квантовано. Согласно их взглядам, *несоизмеримые* пространственные интервалы, вывод о существовании которых следует из этой теоремы, убедительно свидетельствуют против квантования пространства. несоизмеримость наводит на мысль о том, что (i) линейные интервалы представляют собой бесконечные множества непротяженных физических точек, а не конечные множества минимальных элементов пространства, обладающих положительной протяженностью (атомов пространства), и (ii) поскольку все физические пространственные интервалы являются бесконечными системами точек, то их меры (длины) не могут быть заданы кардинальным числом их точечных элементов и, следовательно, не могут быть установлены путем пересчета этих элементов. С другой стороны, если бы физическое простран-

ство было гранулированным (дискретным, атомарным, квантованным), мера любого данного интервала могла бы быть выражена с помощью кардинального числа составляющих его квантов и, таким образом, мера протяженности *содержалась бы внутри самих пространственных* интервалов. Уолтер Берли сделал вывод, что, следовательно, «в континууме (непротяженных точек) по самой природе, а не только по установлению людей нет никакой первичной и единственной меры (то есть никакой меры, «содержащейся внутри пространственной протяженности»)»¹. К подобному же выводу пришел и Давид Юм².

Из соображений, выдвинутых этими мыслителями, ясно, что если один атом пространства или любое *целое* их множество составляют единицу измерения, которая *содержится внутри* каждого интервала дискретного пространства, то внутри интервалов непрерывного пространства физических точек не содержится никакой единицы измерения. Таким образом, непрерывность физического пространства предполагает *неограниченный* конвенциональный выбор единицы длины. Напротив, в атомарном пространстве подобный неограниченный конвенциональный выбор не допускается; например, предполагаемая единица измерения, равная половине атома этого пространства, не допускала бы никакой физической реализации. В соответствии с этим уже размышления философских предшественников Римана наводят на следующие соображения: широта конвенционального выбора при определении метрики пространства зависит от фактов, которые сами не являются предметом конвенции.

Рассмотрим теперь интервал AB в математически непрерывном физическом пространстве, скажем, данной (классной) доски, а также интервал T_0T_1 в континууме мгновений, образуемом, например, движением классической частицы.

В отличие от ситуации с атомарным пространством ни кардинальное число интервала AB , ни любое другое свойство, *внутренне присущее* интервалу, не обеспечивает меры его собственной пространственной протяженности точно так же, как и временной протяженности T_0T_1 . Ибо интервал AB характеризуется тем же самым кардинальным числом, как и любой из его *собственных* подынтервалов

¹ Цитируется по книге: Д ж. У и т р о у, Естественная философия времени, «Прогресс», М., 1964, стр. 219.

² Д. Ю м, Трактат о человеческой природе, «Сочинения в двух томах», т. I, «Мысль», М., стр. 131—147.

и, следовательно, как и любой другой невырожденный интервал CD . Подобные же замечания имеют соответственно силу и для временного интервала T_0T_1 . Если бы интервалы физического пространства или времени *обладали* внутренней мерой или «внутренне присущей метрикой», отношения *конгруэнтности* (равно как и неконгруэнтности) получались бы для непересекающихся пространственных интервалов AB и CD именно в силу этой внутренне присущей им метрики. И в этом гипотетическом случае ни существование отношений конгруэнтности между пересекающимися интервалами, ни установление их познавательного значения логически не подразумевало бы повторяющееся наложение и перемещение какого-либо стандарта длины. Однако интервалы математически непрерывного физического пространства и времени лишены внутренней метрики. И при отсутствии такой внутренне присущей метрики основа для измерения протяженности физического пространства или времени должна быть обеспечена с помощью сравнения интервала с телом или процессом, который сопоставляется с ними извне и является тем самым «внешним» по отношению к интервалу. Следовательно, именно *существование*, а не только эпистемологическое установление отношений конгруэнтности (равно как и неконгруэнтности) между непересекающимися интервалами AB и CD непрерывного физического пространства будет зависеть от соответствующих отношений, которые устанавливаются между такими интервалами и внешним метрическим стандартом, сопоставляемым с ними. Таким образом, вопрос о том, *являются ли вообще два непересекающихся интервала конгруэнтными или нет, будет зависеть от частных совпадений внешнего метрического стандарта при его перемещении*, а не только от частных интервалов AB и CD . То же имеет силу и по отношению к роли часов для случая непересекающихся временных интервалов T_0T_1 и T_2T_3 .

Более того, отсутствие у интервалов физического пространства внутренне присущей им метрики — отсутствие, которое прежде всего и вынуждает прибегать к помощи внешнего перемещаемого метрического стандарта, — имеет своим следствием то, что непрерывная структура физического пространства *не может* удостоверить самоконгруэнтность (жесткость) любого внешнего стандарта *в процессе его перемещения*. Это же имеет силу и для физического времени и равномерного хода (изохронизма) часов. Именно

по этой причине оказываются несостоятельными следующие два утверждения, которые явно или неявно содержатся в первой схолии «Начал» Ньютона: 1) критерием адекватности внешнего стандарта длины является фактически его пространственная самоконгруэнтность (жесткость) при перемещении, 2) если каждый из двух внешних стандартов длины приводит к *несовместимым* данным относительно конгруэнтности непересекающихся интервалов, то только один из них остается при перемещении *поистине* пространственно самоконгруэнтным (жестким). Поэтому не следует ошибочно выносить приговор о несостоятельности этих двух утверждений в такой формулировке: внешний метрический стандарт является самоконгруэнтным *в силу конвенции*, а не в силу фактических свойств пространства, хотя любое *соответствие* между полученными с его помощью данными относительно конгруэнтности и данными, обеспечиваемыми другим таким стандартом, является, конечно, вопросом *факта*.

Теперь сопоставим это заключение с нашим прежним выводом о том, что наличие конгруэнтности между непересекающимися интервалами зависит именно от устанавливаемых эмпирическим путем отношений этих интервалов к перемещаемому стандарту, самоконгруэнтность которого устанавливается конвенцией. Тогда становится очевидным, что наличие отношений конгруэнтности между непересекающимися интервалами является: 1) вопросом конвенции именно в том смысле, что конвенциональной оказывается самоконгруэнтность внешнего метрического стандарта при его перемещении, и 2) вопросом факта именно в том смысле, до какой степени соответствующие отношения интервалов к сравниваемому с ними внешнему метрическому стандарту являются делом факта. Поэтому было бы неверно полагать вместе с Патнэмом, что, если существует группа физических законов (например, ньютоновы законы движения, закон Гука и т. д.), которая устанавливает, что все члены определенного класса *S* стандартов пространственной конгруэнтности должны показывать при перемещении одни и те же данные относительно конгруэнтности, тогда решение вопроса самоконгруэнтности при перемещении точно так же становится *делом пространственного факта*. Таким образом, наличие очень важного конвенционального ингредиента в проблеме конгруэнтности непересекающихся интервалов вовсе не противоречит тому, что данная конгруэнтность

получается по отношению к каждому из всей группы внешних стандартов, а не по отношению к одному-единственному стандарту, представленному невозмущенным жестким телом. Вот по каким причинам любой стандарт конгруэнтности является внешним, а самоконгруэнтность любого из них, как и всех их вместе, при перемещении является конвенциональной.

Отношения конгруэнтности между интервалами пространства, времени и пространства-времени соответственно определяются равными мерами ds_3 , ds_1 и ds_4 . И поскольку эти соответствующие интервалы не обладают внутренне присущими им метриками ds_3 , ds_1 и ds_4 , конгруэнтность, устанавливаемая между ними, является внешней.

Таким образом, метрика и конгруэнтность являются внешними для *интервалов* непрерывных многообразий пространства, времени и пространства-времени, но не для самих этих многообразий. Тем не менее для краткости, касаясь этого вопроса, мы будем говорить, что данные многообразия (непрерывности) лишены внутренней метрики.

Концепция конгруэнтности выдвигает здесь допустимую альтернативу метризации непрерывности одних и тех же точечных элементов, которая основывается на несовместимости отношений конгруэнтности. Однако ничто в этой концепции не запрещает использовать критерий описательной простоты и разрешает пользоваться частным видом метризации и тем самым отобрать уникальный класс из классов конгруэнтных интервалов, исключая в определенных теоретических ситуациях остальные. Таким образом, ничто в этой концепции не предписывает нам не обращаться к конгруэнтности, заимствованной из физики нашей повседневной жизни как основе геометрии классной доски или письменного стола. К тому же наша точка зрения на конгруэнтность вполне допускает, что существуют убедительные основания описательной простоты (как это будет объяснено ниже во второй главе) для формулирования эмпирического содержания ньютоновой механики с помощью стандарта астрономической временной конгруэнтности, а не стандарта временной конгруэнтности, опирающегося на неравномерное вращательное движение Земли. Опять же ничто с данной точки зрения на конгруэнтность не вынуждало Эйнштейна чрезмерно усложнять уравнения общей теории относительности, используя пространственно-временную конгруэнтность, отличную от той, которую он

использовал на самом деле. Однако в то же время наша точка зрения считает законными в философском отношении те случаи, когда в науке реально используются альтернативные критерии конгруэнтности того или иного вида, как это было объяснено выше.

Наши критические замечания в адрес точки зрения Ньютона на статус конгруэнтности в непрерывном физическом пространстве и времени касаются только их непрерывности в том виде, как он ее понимал, а не содержания законов физики, которое было предложено последующими теориями. И та оценка конгруэнтности, которую мы предлагаем в противовес ньютоновой, представляет собой более ясное изложение того, что было довольно туманно изложено Риманом в следующих высказываниях его «Инаугурационной лекции» относительно пространства и времени:

Отдельные части многообразий могут быть выделены с помощью некоторых признаков или количественных (квантитативных) различий. С количественной точки зрения сравнение осуществляется в случае дискретных многообразий посредством счета, в случае непрерывных — посредством измерения. Измерение заключается в последовательном прикладывании сравниваемых величин; поэтому возможность измерений обусловлена наличием некоторого способа переносить одну величину, принятую за единицу масштаба, по другой величине. Если такой способ не указан, то сравнивать две величины можно лишь в том случае, когда одна из них является частью другой, и тогда речь может идти лишь о «больше» или «меньше», а не о «сколько»...

Вопрос... тесно связан с вопросом о внутренней причине возникновения метрических отношений в пространстве. Этот вопрос, конечно, также относится к области учения о пространстве, и при рассмотрении его следует принять во внимание сделанное выше замечание о том, что в случае дискретного многообразия принцип метрических отношений содержится уже в самом понятии этого многообразия, тогда как в случае непрерывного многообразия его следует искать где-то в другом месте. Отсюда следует, что или то реальное, что создает идею пространства, образует дискретное многообразие, или же нужно пытаться объяснить возникновение метрических отношений чем-то внешним — силами связи, действующими на это реальное¹.

Ниже мы увидим, что хотя Риман ошибался, предполагая, что первая часть этого утверждения выдержит критическую проверку в качестве характеристики непрерывного многообразия вообще, он изложил здесь фундаментальное свойство непрерывности *физических пространства и времени*,

¹ Б. Р и м а н, О гипотезах, лежащих в основании геометрии. Сб. «Об основаниях геометрии», М., 1956, стр. 311, 323—324.

которые суть многообразия, где все элементы, взятые отдельно, имеют нулевое измерение. Это основное свойство пространственно-временного континуума, как уже сейчас видно, лишает силы ньютоново утверждение о том, что пустому пространству и времени внутренне присуща определенная метрика. Продолжая обсуждение римановой трактовки пространственно-временной конгруэнтности, мы можем не касаться ограниченности доканторовской трактовки Риманом дискретного и непрерывного типов порядка как *взаимоисчерпывающих* понятий.

Мы отложим это обсуждение до тех пор, пока в четырнадцатой и пятнадцатой главах не будет рассмотрено значение идеи Римана о том, что «основания для метрических отношений пространства должны быть найдены извне... в рассмотрении сил, которые воздействуют на него», для первоначальной попытки Эйнштейна использовать принцип Маха в общей теории относительности¹.

Полагая, что утверждение Римана применимо не только к длинам, но также *mutatis mutandis* к площадям и объемам большего числа измерений, он дает следующее достаточное (но не необходимое) условие внутренней определяемости и неопределяемости метрики: в случае дискретно упорядоченного множества «расстояния» между двумя элементами могут быть внутренне определены довольно естественным путем с помощью кардинального (наименьшего) числа промежуточных элементов². В противоположность этому при сопоставлении протяженных непрерывных многообразий пространства и времени (их непрерывность в современной физической теории постулируется, если не считать программы квантования пространства и времени) ни кардинальность интервалов, ни любое другое топологическое свойство их не дают оснований для внутренне определяемой метрики³.

¹ А. Эйнштейн, Принципиальное содержание общей теории относительности, «Собрание научных трудов», изд-во «Наука», М., 1965, т. 1, стр. 613.

² Здесь не рассматривается основание для прерывного упорядочения; оно может быть конвенциональным, как в случае букв алфавита, или обусловлено особыми свойствами и отношениями объектов, обладающих специфическим порядком.

³ Эта точка зрения делает в философском отношении законными те случаи, действительно имеющие место в науке, когда использовались альтернативные критерии пространственной (или временной) конгруэнтности. Пример такого использования можно привести с помощью диска, вращающегося с переменной угловой

Метрическая аморфность, внутренне присущая пространственной непрерывности, становится в дальнейшем очевидной благодаря аксиомам пространственной конгруэнтности, после того как было установлено, что им должна быть дана *пространственная* интерпретация с помощью интервалов физического пространства¹. Эти аксиомы определяют, что конгруэнтность (для интервалов) должна быть *предикатом пространственного равенства*, приписывая рефлексивность, симметрию и транзитивность отношению конгруэнтности в классе пространственных интервалов. Однако, хотя и имеется такое предварительное использование понятия «конгруэнтный» и система аксиом тем самым уже не является неинтерпретированной, аксиомы конгруэнтности допускают еще бесконечное число взаимно исключающих классов конгруэнтности пространственных интервалов, и нужно ясно давать себе отчет, что любой определенный класс конгруэнтности есть некоторый класс из классов конгруэнтных интервалов, длины которых задаются определенной функцией расстояния $ds^2 = g_{ik}dx^i dx^k$. Мы только что видели, что не существует метрических атрибутов, внутренне присущих интервалам, на которые можно было бы сослаться при выборе одного из этих классов конгруэнтности в качестве уникального. Как же тогда мы можем говорить о том, что предполагаемое непрерывным физическое пространство имеет *какую-то* метрику, или *mutatis mutandis* предполагать, что физический временной континуум обладает уникальной метрикой? Ответ может быть только таким²: именно выбор какого-то частного стандарта конгруэнтности, который является *внешним* по отноше-

скоростью в плоском пространстве-времени Минковского. Подробное обсуждение этого примера см. в: A. G r ü n b a u m, *Geometry and Chronometry in Philosophical Perspective* (University of Minnesota Press, Minneapolis, 1968), Ch. III, § 2.

¹ См. об этих аксиомах: A. N. W h i t e h e a d, *The Principle of Relativity*, Cambridge: Cambridge University Press, 1922, Chap. iii, pp. 42—50.

² Такое заключение, видимо, казалось необоснованным тем, кто, подобно Уайтхеду, отвергал «бифуркации природы», являющиеся предпосылками этого заключения. Далее в этой главе читатель найдет подробные возражения против утверждения Уайтхеда о том, что *воспринимаемые* пространство и время обладают внутренне присущими метриками, так что различие между физическим и воспринимаемым пространством (или временем) отвергается как незаконное и метрика, внутренне присущая физическому пространству и времени, может быть введена в них разумным образом

нию к самому континууму, может определить уникальный класс конгруэнтности, жесткость, или самоконгруэнтность, стандарта которого при перемещении *декретируется конвенцией*; то же имеет силу для периодических устройств, представляющих изохронность (равномерность) хода часов.

Таким образом, роль пространственного или временного стандарта конгруэнтности не может быть истолкована вместе с Ньютоном и Расселом¹ только как установление иным способом равенства, которое внутренне присуще интервалам, принадлежащим к классу конгруэнтности, устанавливаемому этим равенством. Если один из двух отрезков не является подмножеством другого, то получение отношения конгруэнтности между двумя отрезками есть вопрос соглашения, условия или дифиниции, а не вопрос фактуальный, относительно которого эмпирические данные могли бы показать, что мы ошибаемся. Следовательно, до получения физического условия конгруэнтности вообще не может быть и речи об эмпирически или фактуально определяемой метрической геометрии или хронометрии².

В случае геометрии задание интервалов, которые по соглашению должны быть конгруэнтными, осуществляется при помощи функции расстояния $ds = \sqrt{g_{ik}dx^i dx^k}$; кон-

¹ B. Russell, Sur les Axiomes de la Géométrie, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VII (1899), pp. 684—707.

² Д'Абро (A. d'Abro, The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein, New York: Dover Publications, Inc., 1950, p. 27) ошибочно иллюстрирует тезис о конвенциональном характере метрики в континууме следующим образом: он рассматривает поток звуков, изменяющихся по высоте тона, и показывает, что критерий конгруэнтности, основанный на последовательных слуховых октавах данной музыкальной ноты, находится в противоречии с конгруэнтностью, определяемой равными разностями между связанными частотами вибрации, поскольку разности частот между последовательными октавами не равны. Однако иллюстрация Д'Абро является не примером альтернативной метризации одного и того же математически непрерывного многообразия элементов, а примером метризации двух различных многообразий, причем только одно из них непрерывно в математическом смысле. Ибо содержание слуховых восприятий, составляющее отношение следующих друг за другом октав, представляет собой элементы только *сенсорного* «континуума». Кроме того, мы увидим далее в этой главе, что, будучи верным для математического континуума физического пространства и времени, элементы которых (точки и расстояния) соответственно одинаковы как в качественном, так и в количественном отношениях, тезис о конвенциональном характере метрики нельзя распространять вопреки Риману и Д'Абро на все виды математического континуума.

груэнтными будут те интервалы, которые, согласно этой функции, будут характеризоваться равными длинами. Во всяком случае, интервалы, определяемые совпадениями перемещающегося стержня, не испытывающего «деформирующих воздействий», или являются такими, которым функция расстояния приписывает равные длины ds , или они вовсе не зависят от нашего выбора функции g_{ih} . Таким образом, если компоненты метрического тензора g_{ih} подобраны соответствующим образом в любой заданной системе координат, то перемещающийся стержень, по предположению, должен быть всюду конгруэнтен самому себе независимо от своего положения и ориентации.

С другой стороны, при соответствующем выборе иных функций g_{ih} длина ds перемещающегося стержня может не быть постоянной, а меняться с изменением положения и ориентации. Коль скоро посредством функции расстояния ds установлена конгруэнтность, тем самым определяются и геодезические (прямые линии), связанные с данным выбором конгруэнтности¹, так как семейство геодезических

¹ Геодезические называются «прямыми линиями», когда их отношения рассматриваются в рамках синтетической геометрии. Однако из этого отождествления не следует, что на поверхности, отличной от евклидовой плоскости, любая геодезическая связь между любыми двумя точками является линией, выражающей кратчайшее расстояние между ними. Поскольку мы не собираемся ограничиваться евклидовой геометрией, наличие геодезической связности есть только необходимое, но не достаточное условие существования кратчайшего расстояния; «верно, что кратчайшее расстояние между двумя точками P и Q на сфере задается по геодезической, представленной дугой большого круга. Но существуют две дуги большого круга между двумя точками, и только одна из них является кривой наименьшей длины, исключая тот случай, когда P и Q являются концами диаметра и обе дуги имеют одинаковую длину. Этот пример со сферой показывает также, что не всегда верно, что через две точки проходит только одна геодезическая: если P и Q являются концами диаметра, то любой большой круг, проходящий через P и Q , является геодезической и дает решение проблемы нахождения кратчайшего расстояния между этими двумя точками» (см.: D. J. S t r u i k, Classical Differential Geometry, Cambridge: Addison-Wesley Publishing Co., 1950, p. 140). Однако в том случае, «если две точки на поверхности таковы, что через них проходит только одна геодезическая, длина отрезка геодезической является кратчайшим расстоянием на поверхности между этими двумя точками» (L. P. E i s e n h a r t, An Introduction to Differential Geometry, Princeton University Press, 1947, Sec. 32, p. 175).

О достаточных условиях того, чтобы геодезическая связь выражала минимальное или кратчайшее расстояние, см.: O. B o l z a, Lectures on the Calculus of Variations (New York: G. E. Ste-

определяется вариационным условием $\delta \int ds = 0$, имеющим вид дифференциального уравнения, решение которого есть уравнение семейства геодезических¹. Геометрия, характеризующая отношение рассматриваемых геодезических, определяется аналогичным образом посредством функции расстояния ds , потому что гауссова кривизна K всякого элемента поверхности в любой точке пространства задается посред-

chert, 1946), Chap. III, §§ 17—23 включительно, и N. I. Akhiezer, The Calculus of Variations (New York: Blaisdell Publishing Co., 1962), Sec. 3, 4, 15.

¹ В дифференциальном исчислении существует проблема определения максимума и минимума (экстремума) функции $y = f(x)$. Необходимым условием существования экстремума в точке $x = a$ является $dy/dx = 0$ в точке $x = a$.

Далее, в нашем случае вариационное исчисление имеет дело с подобной, но более сложной проблемой: найти функцию $y = f(x)$, являющуюся уравнением семейства геодезических линий, такую, что определенный интеграл $-\int ds$, взятый по функции $y = f(x)$, будет минимальным или относительно минимальным, то есть экстремальным для малых вариаций, которые обращаются в нуль на границах интегрирования. Мы рассматриваем $\int ds$ как функцию функции $y = f(x)$, так как первый зависит от контура $y = f(x)$, по которому берется интеграл. По аналогии с условием $dy = 0$ для экстремума в дифференциальном исчислении условие для семейства геодезических в вариационном исчислении есть $\delta \int ds = 0$.

Представляя ds как $I dx$, можно показать в вариационном исчислении (см.: H. Margenau and G. M. Murphy, The Mathematics of Physics and Chemistry, New York: D. Van Nostrand Co., 1943, pp. 193—195), что это условие выражается дифференциальным уравнением, известным под названием уравнения Эйлера

$$\frac{\partial I}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial I}{\partial (dy/dx)} = 0,$$

где символ ∂ обозначает частную производную в отличие от символа вариации δ .

В качестве простой иллюстрации рассмотрим проблему нахождения геодезических евклидовой плоскости. Метрика задана: $ds^2 = dx^2 + dy^2$. Ее можно переписать в виде $ds = \sqrt{1 + (dy/dx)^2} dx \equiv \int_a^1 ds$. Если $\int_a^1 ds$ минимален, то уравнение Эйлера должно удов-

летворяться для случая $I \equiv \sqrt{1 + (dy/dx)^2}$. Следовательно, мы имеем $dy/dx = m$, где m есть константа, или $y = mx + b$. Как и ожидалось, это есть уравнение семейства прямых.

ством функций g_{ik} , являющихся составной частью функции расстояния ds .

Поэтому существуют альтернативные метризации тех же самых фактуальных отношений совпадения перемещаемого стержня, и некоторые из этих альтернативных определений конгруэнтности приводят к различным метрическим геометриям. Поэтому посредством соответствующего определения конгруэнтности мы свободны выбрать в качестве описания данной совокупности пространственных фактов любую метрическую геометрию, совместимую с существующей топологией. Более того, в разделе Б третьей главы мы увидим, что существует бесконечно много несовместимых определений конгруэнтности, которые обеспечивают выбор любой из метрических геометрий, евклидовой или неевклидовой.

Мы говорим об альтернативных «определениях» конгруэнтности. В частности, мы будем ссылаться на одно из этих определений, которое задается с помощью недеформируемого стержня, как на «обычное определение» конгруэнтности. Однако можно возразить, что такие понятия, как обычное понятие пространственной конгруэнтности, являются понятиями «множества критериев» в противоположность понятиям «одного критерия»¹: конгруэнтные пространственные интервалы в инерциальной системе можно было бы «определить», например, как интервалы, для прохождения которых в один конец или туда и обратно световому лучу требуется одинаковое время, и это определение было бы столь же возможным, как и определение посредством совмещения недеформируемых передвижных стержней. На это возражали, что логически неверно говорить о введении определения конгруэнтности в духе «координативного определения»² Рейхенбаха, поскольку никакой физический критерий, такой, например, как основанный на твердом стержне, не может обеспечить исчерпывающим образом

¹ См.: H. Putnam, *The Analytic and the Synthetic*, в кн.: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, Vol. III, esp. pp. 376—381.

² Согласно Рейхенбаху, в отличие от обычных логических определений понятий через другие понятия, в физике пользуются другими определениями, а именно, то или иное понятие определяется через сопоставление с ним определенного предмета или процесса действительности. Такие определения он называет координативными. См. «*The Philosophy of Space and Time*», § 4. — *Прим. перев.*

действительное и потенциальное физическое значение понятия пространственной конгруэнтности в физике. Но при этом возражении упускают из виду, что наши ссылки на то или иное «определение» конгруэнтности в пределах множества *взаимно исключающих* «определений» конгруэнтности не приводит нас к грубо операционалистскому утверждению, что любое частное «определение», выбранное ученым, исчерпывающим образом характеризует «данное значение» пространственной конгруэнтности в физической теории. Ибо нас интересует возможность альтернативной метризации пространственного континуума, которую подчеркнул Риман, и вытекающий отсюда конвенциональный характер конгруэнтности. И мы вполне отдаем себе отчет в том, что физика предоставляет нам класс *совместимых* критериев конгруэнтности, а не только один такой критерий. Следовательно, когда в данной ситуации мы говорим об «определении» конгруэнтности, мы понимаем под «определением» такую характеристику, которая использует тот или иной критерий для выбора определенного класса конгруэнтности из бесконечного множества взаимоисключающих классов конгруэнтности. Таким образом, повсюду в этой книге мы будем говорить об «определении» конгруэнтности, в сущности не ставя под сомнение то, что пространственная конгруэнтность в физике есть открытое понятие, характеризующее многими критериями в следующем смысле: имеется потенциально растущее множество совместимых физических критериев, а не только один-единственный критерий, посредством которого любой класс пространственной конгруэнтности (то есть класс, обычный для элементарной физики) может быть отделен от всякого другого класса конгруэнтности. Указывая ранее, что вопрос о пространственной и временной конгруэнтности убедительно рассмотрен в римановой теории непрерывных многообразий, мы говорили, что эта теория не выдерживает пристального критического анализа как теория, характеризующая непрерывные многообразия вообще. Чтобы подтвердить это обвинение и сделать его более веским, мы покажем сейчас, что непрерывность не может рассматриваться, следуя Риману, как достаточное основание метрической аморфности, внутренне присущей любому многообразию вне зависимости от характера его элементов. Ибо, как верно заметил¹ Рассел¹,

¹ B. Russell, *The Foundations of Geometry*, New York: Dover Publications, 1956, Secs. 63, 64.

существуют непрерывные многообразия, такие, как многообразии цветов (частот спектра в физическом смысле), где составляющие элементы качественно отличаются один от другого и имеют присущую им величину, позволяющую проводить метрическое сравнение самих элементов. Напротив, в непрерывных многообразиях пространства и времени ни точки, ни отрезки не имеют внутренне присущей им величины, которая позволяла бы проводить индивидуальное метрическое их сравнение, так как все точки и отрезки подобны. Следовательно, в таких многообразиях метрически можно сравнивать только интервалы между элементами, но не сами однородные элементы. Непрерывность этих многообразий гарантирует тогда то, что метрика для их интервалов не является внутренне им присущей.

Чтобы в дальнейшем обнаружить отношение характера элементов непрерывного многообразия к возможности существования в нем внутренне обусловленной метрики, я сопоставляю вопрос о метрике в пространстве и времени с вопросом о метрике как 1) в континууме действительных чисел, расположенных по величине, так и 2) в квазиконтинууме масс; причем масса рассматривается как свойство тел в ньютоновом смысле, уточненном определением Маха¹.

Приписывание действительных чисел точкам в физическом пространстве посредством введения обобщенных криволинейных координат производит только *координацию*, но не *метризацию* многообразия физического пространства. Сравнение точек по величинам их координат-знаков, выраженных действительными числами, не может иметь никакого информативного значения в метрическом отношении. Однако в пределах непрерывного многообразия, состоящего из самих действительных чисел, упорядоченных по величине, каждое действительное число отличается от другого и метрически сравнимо со всяким другим через посредство внутренне присущей ему величины. И измерение массы можно рассматривать как контраргумент против метрической философии Римана на основании следующих соображений.

В определении Маха ньютонова масса (гравитационная и инерционная) задается не как *отношение массы частицы В*

¹ Краткую оценку этого определения см. в: L. Page, Introduction to Theoretical Physics, New York: D. Van Nostrand Company, 1935, pp. 56—58.

к массе стандартной частицы A , а как отношение величины ускорения частицы A , обусловленного частицей B , к ускорению частицы B , обусловленному частицей A . Коль скоро пространственно-временная метрика и тем самым ускорение фиксируются обычным путем, это отношение для любого отдельного тела B не зависит, между прочим, от того, как далеко расположены друг от друга A и B при их взаимодействии. Таким образом, любое подтверждение равенства (конгруэнтности масс) или неравенства масс двух тел имеет место независимо от степени их пространственного удаления. Множество промежуточных тел образует квазиконтинуум относительно двух отношений «обладать большей массой» и «иметь ту же самую массу», то есть они образуют порядок, который представляет собой континуум, за исключением того факта, что отдельные тела могут занять одно и то же место в этом порядке, подтверждая тем самым, что их массы находятся в отношении конгруэнтности. Без такого отношения равенства масс *ab initio* множество тел не образует даже квазиконтинуума. Мы завершаем метризацию этого квазиконтинуума посредством выбора единицы массы (то есть одного грамма) и используя сами числовые выражения отношений масс, которые получаются из эксперимента. Здесь нет сомнения в том, что отсутствует внутренняя метрика в смысле возможности решения, равна ли разность масс пары тел разности масс другой пары или нет. В полученном континууме действительных чисел, представляющих массы, сами элементы имеют внутренне присущую им величину, и, следовательно, их можно сравнивать, индивидуально определяя тем самым внутренне присущую им метрику. В отличие от точечных элементов пространства элементы множества тел не совсем подобны массе, и, следовательно, метризация квазиконтинуума, которую они определяют своими отношениями «обладать большей массой» и «иметь ту же самую массу», может принять форму прямого сравнения индивидуальных элементов этого квазиконтинуума, а не только интервалов между ними.

Если желательно провести пространственную (или временную) аналогию метризации масс, то следует взять в качестве множества, которое должно быть метризовано, не континуум точек (или отрезков), а квазиконтинуум всех пространственных (или временных) *интервалов*. Для того чтобы использовать такие интервалы в качестве элементов множества, подлежащего метризации, мы должны прежде всего

иметь критерий пространственной конгруэнтности и критерий отношения «быть больше чем», с помощью которых можно было бы объединить интервалы в квазиконтинуум, который в свою очередь может быть метризован посредством задания числовых величин. Эта метризация будет пространственной или временной аналогией метризации масс.

В. Пуанкаре

Сейчас мы дадим иллюстрацию общей формулировки конвенционального характера пространственной конгруэнтности, которую мы привели в разделе Б в качестве прямого следствия риманова анализа метрической проблемы пространственного континуума. Рассмотрим физическую поверхность, такую, как бесконечная плоскость или часть ее, и на ней систему декартовых координат. Обычная метризация такой поверхности основывается на конгруэнтности, определяемой совпадениями перемещаемого стержня: линейному отрезку, разность координат между концами которого соответственно равна dx и dy , приписывается длина ds , задаваемая формулой $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$, и геометрия, связанная с этой метризацией поверхности, является, конечно, евклидовой. Но мы также свободны использовать иную метризацию в какой-либо части этого пространства или повсюду в нем. Так, например, мы можем с равным основанием метризовать часть плоскости выше оси x с помощью новой метрики

$$ds = \sqrt{\frac{dx^2 + dy^2}{y^2}}.$$

Эта альтернативная метризация отлична от обычной метризации: например, она делает длины $ds = dx/y$ горизонтальных отрезков, разность координат между концами которых равна dx , зависимыми от положения их на оси y . Следовательно, эта метризация позволяет нам считать конгруэнтными отрезки, у которых $dx = 2$ при $y = 2$ и $dx = 1$ при $y = 1$, тогда как обычная метризация приводит к отношению длин как 2 : 1. Однако новая метрика не говорит о том, что подвижный стержень будет последовательно совпадать с интервалами, относящимися к классу конгруэнтности, определенному этой метрикой; напротив, новая метрика принимает во внимание это несовпадение, делая длину стержня переменной функцией его положения: будучи расположенным параллельно оси x при $y = 2$, стержень будет

иметь только половину длины стержня, расположенного при $y = 1$.

Поскольку наша новая метрика, введенная Пуанкаре, порождает класс конгруэнтности *линейных отрезков*, отличный от класса обычной конгруэнтности, представляет интерес вопрос, имеет ли место подобная *необычная конгруэнтность углов*. Для обсуждения этого мы обратимся к следующим необходимым математическим данным. Угол θ , заданный направлениями A и B в римановом пространстве, которые определяются перемещениями A^i и B^j , соответственно выражается формулой

$$\cos \theta = \frac{g_{ij}A^iB^j}{\sqrt{g_{ab}A^aA^b} \cdot \sqrt{g_{ab}B^aB^b}},$$

где g_{ij} представляют собой метрические коэффициенты¹ метрики $ds^2 = g_{ij}dx^i dx^j$ для линейных отрезков. Сейчас мы введем *новую* метрику, которая имеет то свойство, что ее метрические коэффициенты g_{ij}^* связаны с первоначальными коэффициентами g_{ij} следующим так называемым «конформным» преобразованием: $g_{ij}^* = f(x^i)g_{ij}$, где $f(x^i)$ есть аналитическая функция координат x^i . Из вышеприведенного выражения для $\cos \theta$ очевидно, что углы θ и, следовательно, отношения конгруэнтности между углами остаются неизменными при любой новой метризации, в которой метрические коэффициенты g_{ij}^* связаны конформным преобразованием с коэффициентами первоначальной метрики².

Этот результат позволяет нам убедиться в том, что метрика Пуанкаре $ds^2 = 1/y^2(dx^2 + dy^2)$ приводит к *тому же самому* классу конгруэнтности *углов*, что и первоначальная метрика $ds^2 = dx^2 + dy^2$, поскольку коэффициенты метрики Пуанкаре связаны с коэффициентами стандартной метрики множителем $1/y^2$.

Чтобы определить, какие линии на полуплоскости являются *геодезическими* в нестандартной метрике Пуанкаре

$$ds = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{y},$$

¹ См.: T. Y. Thomas, The Differential Invariants of Generalized Spaces, Cambridge: Cambridge University Press, 1934, p. 12.

² Ibid., p. 20.

нужно заменить данную ds и внести изменения в условия, определяющие $\delta \int ds = 0$ для этого семейства геодезических. Как уже упоминалось в сноске на стр. 28 в разделе Б, искомые геодезические нашей новой метрики должны поэтому задаваться уравнением Эйлера

$$I \equiv \frac{\sqrt{1 + (dy/dx)^2}}{y}.$$

При подстановке этой величины I в эйлерово уравнение мы получаем дифференциальное уравнение семейства геодезических

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{1}{y} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] = 0.$$

Решением этого уравнения является выражение

$$(x - k)^2 + y^2 = R^2,$$

где k и R — постоянные интегрирования. Это решение представляет собой семейство прямых (геодезических), связанных с метрикой Пуанкаре; но на евклидовом языке, соответствующем обычной декартовой метрике, оно представляет семейство «окружностей» с центрами на оси x и перпендикулярных ей, причем верхние «полукружности» будут геодезическими полуплоскости Пуанкаре, характеризующейся уже иной метрикой.

Читатель может убедиться, что новая метризация Пуанкаре приводит к *гиперболической* неевклидовой геометрии на полуплоскости, используя новые метрические коэффициенты $g_{11} = 1/y^2$ и $g_{22} = 1/y^2$, чтобы получить из формулы Гаусса¹ отрицательное значение гауссовой кривизны K . То, что метрика Пуанкаре дает гиперболическую геометрию той же самой полуплоскости $y > 0$, являющейся евклидовой плоскостью при обычной метризации, становится геометрически очевидным, если заметить, что новые геодезические полуплоскости Пуанкаре обладают следующими свойствами: во-первых, их бесконечность гарантируется поведением метрики Пуанкаре при $y \rightarrow 0$ и, во-вторых, они удовлетворяют гиперболическому постулату параллельности, согласно которому существует более чем одна компланарная, параллельная данной прямой, поскольку они

¹ Это можно найти в кн.: Ф. К л е й н, Неевклидова геометрия, М.—Л., 1936, стр. 306.

также определяются как евклидовы полуокружности и, следовательно, обнаруживают евклидово свойство: через точку вне полуокружности может быть проведена больше чем одна полуокружность, не пересекающая данную полуокружность.

Очевидно, что замена стандартной декартовой метрики метрикой Пуанкаре приводит к такому переименованию различных траекторий на полуплоскости, что язык гиперболической геометрии описывает те же самые факты совпадения стержней при перемещении на полуплоскости, которые обычно излагаются языком евклидовой геометрии. В свете предварительной оценки Риманом пространственной (и временной) метрики мы должны сделать вывод, что не только с математической, но и с философской точек зрения гиперболическая метризация полуплоскости столь же правомерна, как и евклидова метризация.

Однако могут возразить, что, хотя новые метрики и законны с философской точки зрения, все же для всех определений конгруэнтности, которые не приписывают равные длины ds интервалам, определяемым посредством совпадения твердого стержня, свободного от возмущающих воздействий, характерна педантичная искусственность и извращенная сложность. Основания для этого возражения следующие: а) в природе не существует таких удобных и привычных объектов, совпадение которых при перемещении приводило бы к физической реализации такой странной и необычной конгруэнтности, и б) после внесения поправок на различные виды идиосинкразических искажений твердых тел, которые зависят от их строения и происходят в негомогенных тепловых, электрических и других полях, все перемещающиеся твердые тела дают те же самые интервалы, что и представляет собой реализацию одной из бесконечного множества математически несовместимых конгруэнтностей. *Mutatis mutandis* то же самое возражение можно выдвинуть и по отношению к любому определению временной конгруэнтности, которая является нестандартной по причине несоответствия с ходом стандартных невозмущаемых материальных часов. Ответ на эту критику может быть двояким.

1) На первый взгляд правдоподобие критерия простоты в выборе определения конгруэнтности открывает подход ко второму соображению на этот счет, а именно когда имеется ясное представление о том, что критерия простоты

недостаточно и необходимы соображения не только относительно определения конгруэнтности, но также и о форме общей системы, в которой геометрия и физика связаны между собой. Наше обсуждение в главах второй и четвертой покажет, что в качестве цены за бóльшую простоту общей теории можно принять и странное определение конгруэнтности. Предвосхищая главу вторую, мы отметим здесь, что хотя Эйнштейн только ссылаясь на возможность необычного определения *пространственной* конгруэнтности в общей теории относительности, но фактически не использовал его¹, он все же опирался в этой теории на такое определение *временной* конгруэнтности, которое наш предполагаемый оппонент рассматривал бы как в высшей степени произвольное, поскольку оно не задается ходом стандартных материальных часов.

2) Особенно поучительно заметить, что космология Милна² постулирует фактическое существование в природе двух метрически различных видов часов, соответственные периоды которых дают физическую реализацию математически *несовместимых* конгруэнтностей. В частности, предположение Милна ведет к тому, что существует *нелинейное отношение*

$$\tau = t_0 \log(t/t_0) + t_0$$

между временем τ , определенным посредством периодических астрономических процессов, и временем t , определенным посредством атомных явлений, причем t_0 является соответственно выбранной произвольной постоянной. Нелинейность отношения между этими двумя видами времени имеет здесь чрезвычайно большое значение, поскольку она гарантирует, что два интервала, конгруэнтные в одной из этих двух временных шкал, будут неконгруэнтными в другой; это очевидно из того, что производная $d\tau/dt$ не является постоянной. Мы можем отчетливо себе представить геометрические отношения между обеими шкалами времени: пусть концом половины незамкнутой линии будет точка $t = 0$ по t -шкале и пусть *равные* пространственные

¹ А. Эйнштейн, Основы общей теории относительности, «Собрание научных трудов», т. I, М., 1965, стр. 452—507.

² E. A. Milne, Kinematic Relativity, Oxford: Oxford University Press, 1948, p. 22.

интервалы на линии обозначают равные временные интервалы по t -шкале. Тогда τ -шкалу можно было бы представить на той же самой линии такой метризацией, где пространственные интервалы становились бы *короче* в направлении точки $t = 0$, то есть точки, которая не относится к τ -шкале, поскольку $\tau \rightarrow -\infty$ при $t \rightarrow 0$. Таким образом, в направлении $t = 0$ (в прошлое) равные временные интервалы на τ -шкале соответствовали бы всегда меньшим интервалам на t -шкале.

Ясно, что было бы довольно необоснованно рассматривать одну из двух конгруэнтностей Милна как необычную, поскольку каждая из них имеет физическую реализацию. Выбор между этими двумя шкалами неизбежно является делом соглашения, так как вполне понятно, что в теории Милна эти связанные с различными метриками описания мира фактически эквивалентны и, следовательно, одинаково истинны.

Какой приговор можно было бы вынести стороннику ньютоновской точки зрения, согласно которой метрика внутренне присуща многообразию, если учесть примеры альтернативной метризуемости как пространства (гиперболическая метризация Пуанкаре полуплоскости), так и времени (общая теория относительности и космология Милна)? Во-первых, ньютонианец верно замечает, что, поскольку все согласны с тем, что термин «конгруэнтный» в применении к интервалам должен выражать рефлексивное, симметричное и транзитивное отношение в данном классе геометрических конфигураций, использование этого термина ограничивается обозначением отношения пространственного равенства. Однако ньютонианец неправоммерно настаивает на том, что пространственное равенство между двумя линейными отрезками физического пространства (либо между областями поверхности, либо трехмерного пространства соответственно) состоит в том, что они содержат то же самое, *внутренне присущее им количество пространства*. И, исходя из этой ложной предпосылки, он якобы имеет право утверждать, что, во-первых, никогда не будет законным произвольный выбор того, какие специфические интервалы следует считать конгруэнтными, и, во-вторых, в дополнение к тому, что такой выбор нельзя сделать, не существует возможности и для выбора линий, которые следует рассматривать как прямые, а тем самым нельзя сделать выбор и среди альтернативных геометрических описаний реального физического

пространства. Причина этого состоит в следующем: условию геодезических $\delta \int ds = 0$ должны удовлетворять прямые, на которые накладывается ограничение, что только членам единственного класса линейных отрезков, равенство которых является внутренне присущим им свойством, можно приписывать одну и ту же длину ds . Кроме того, ньютоновец утверждает, что только «истинно» (внутренне) равные временные интервалы могут рассматриваться в качестве конгруэнтных, и посему он настаивает на том, что во временном континууме существует только один допустимый класс конгруэнтности. Этот вывод он затем пытается обосновать, ссылаясь на некоторые причинные отношения из ньютоновой динамики; мы опровергнем его далее, в главе второй.

Г. Эддингтон

Точка зрения Пуанкаре, согласно которой эпистемологический статус конгруэнтности является центральным для философской оценки евклидовой геометрии и сопоставления ее с неевклидовой геометрией, была отвергнута Эддингтоном. Согласно Эддингтону, тезис о конвенциональном характере конгруэнтности (для линейных отрезков или временных интервалов) верен только в том тривиальном смысле, что «значение всякого слова в языке конвенционально»¹. Комментируя утверждение Пуанкаре о том, что мы можем всегда воспользоваться возможностью введения иной метрики с тем, чтобы дать евклидову интерпретацию любому результату измерений звездных параллаксов², Эддингтон писал:

Блестящее изложение Пуанкаре принесет нам большую пользу для освещения того вопроса, который стоит теперь перед нами. Пуанкаре выясняет взаимную зависимость геометрических и физических законов, которую нам надо всегда иметь в виду³. Мы можем некоторые положения выделить из одной из этих двух групп законов и отнести к другой. Я допускаю, что пространство условно, но в таком случае значение каждого слова условно. Больше того, мы теперь действительно подошли к такому месту, где перед нами

¹ A. S. E d d i n g t o n, *Space, Time and Gravitation*, Cambridge: Cambridge University Press, 1953, p. 9.

² H. P o i n c a r é, *The Foundations of Science*, Lancaster: The Science Press, 1946, p. 81.

³ Эта взаимная зависимость анализируется нами ниже, в главе четвертой.

открываются те две возможности, о которых говорит Пуанкаре, хотя *experimentum crucis* не тот, на который он указывает. Но я вполне сознательно останавливаюсь на той возможности, которая, по его мнению, каждому представляется менее приемлемой. Я называю то пространство, к которому я прихожу таким образом, *физическим* пространством, и геометрию этого пространства — *натуральной геометрией*, допуская тем самым, что пространство и геометрию можно понимать еще и в другом, условном смысле. Если бы вопрос шел только о том, в каком смысле понимать пространство — вообще довольно расплывчатый термин, — то эта другая возможность могла бы иметь некоторые преимущества. Однако значение, которое мы придаем понятию о длине и расстоянии, должно быть согласовано с тем значением, которое мы придаем понятию о пространстве. Но это количества, которые физик привык измерять с большой точностью, и они являются существенной составной частью нашего экспериментального знания о внешнем мире... Неужели нам придется лишиться права пользоваться теми терминами, в которых мы привыкли выражать это знание? ¹

Эддингтон утверждает, что конвенциональный характер конгруэнтности выражает не сущность пространственного или временного равенства, а является семантической тривиальностью, которая выражает нашу свободу выбора референтов для слова «конгруэнтный», — свободу, которую мы можем использовать в отношении любого лингвистического символа, который еще не оформился семантически. Таким образом, хотя мы сейчас и говорим о том, что конвенциональность конгруэнтности является только тривиальностью, вытекающей из нашей неосведомленности относительно языка какой-нибудь сферы исследования, она ошибочно раздувается до философской доктрины относительно пространственно-временного равенства, цель которой состоит в построении системы фундаментальных свойств, присущих объектам геохронометрии. В частности, Эддингтон возражает против стремления Пуанкаре сохранить евклидову геометрию посредством альтернативной метризации: с точки зрения общей теории относительности сохранение евклидовости действительно потребовало бы определения конгруэнтности, отличного от обычного, как это будет показано в третьей главе. Рассматривая возможность сохранения евклидовой геометрии в реметризованном виде только как иллюстрацию возможной полезности конвенциональности любого языка, Эддингтон исключал эту процедуру на том основании, что обычное определение пространственной кон-

¹ А. Эддингтон, *Пространство, время и тяготение*, Одесса, 1923, стр. 10.

груэнтности, которое должно было бы быть заменено иной метрикой, сохраняет свою полезность.

Вывод Эддингтона о том, что вопросом соглашения является только использование слова «конгруэнтный», а не приписывание отношения конгруэнтности, подкрепляется также сходным аргументом, который опирается на теорию моделей неинтерпретированного формального исчисления: 1) физическая геометрия есть интерпретированное в терминах пространства абстрактное исчисление, и эта интерпретация формальной системы осуществляется посредством семантических правил, которые в равной степени все являются конвенциональными, а среди них определение отношения «конгруэнтный» (для линейных отрезков) не имеет эпистемологически выделенного значения, поскольку мы точно так же имеем право дать необычную интерпретацию абстрактному символу «точка», как и абстрактному символу «конгруэнтный»; 2) эта теоретико-модельная концепция делает очевидным то, что может вовсе не быть основания для эпистемологического различия в рамках системы физической геохронометрии между фактуальными утверждениями относительно жесткости и изохронности, с одной стороны, и утверждениями на этот счет, которые полагаются конвенциональными, — с другой; 3) оспаривать функциональные основания физической геометрии или хронометрии, ссылаясь на конвенциональный характер жесткости и изохронности, означает примерно то же, что и отрицать фактуальные основания генетики, ссылаясь на конвенциональный характер определения момента соединения, когда из двух гамет образуется зигота.

Отстаивая возможность установления различных метрик пространства и времени и вытекающую отсюда возможность как евклидова, так и неевклидова описания одних и тех же пространственных фактов, Пуанкаре трактовал конвенциональный характер конгруэнтности как открытие эпистемологического статуса отношения пространственного или временного равенства. Поэтому утверждения сторонника предыдущей точки зрения, опирающейся на теорию моделей, об ошибочности аргументации Пуанкаре в пользу возможности выбора метрической геометрии основаны только на том, что этот выбор автоматически гарантируется теорией моделей. Кроме того, этот критик утверждает, что исследования Пуанкаре эмпирических оснований

метрической геометрии оправдано не в большей степени, чем философские исследования того, в каком смысле генетика, как таковая, может рассматриваться как эмпирически обоснованная наука.

Для того чтобы увидеть, в чем состоит основная ошибка, допущенная Эддингтоном в его критических рассуждениях, крайне важно убедиться в том, что тезис о конвенциональном характере конгруэнтности в первую очередь есть утверждение, относящееся к *структурным свойствам физического пространства и времени*; только семантическое следствие этого тезиса касается языка геохронометрического описания физического мира. Считая такую оценку неверной, Эддингтон и те, кто ссылается на теорию моделей, были введены в заблуждение; они рассматривали лишь неудачную карикатуру на дебаты между ньютонианцем, настаивающим на фактуальности конгруэнтности, основанной на метрике, якобы внутренне присущей пространству, и римановой конвенционалистской критикой этой точки зрения, данной Пуанкаре. Согласно этой карикатурной версии, можно сказать, что Пуанкаре предлагал не более чем семантический трюизм. В частности, эти незадачливые критики полагают, что их упрощенное изложение вопроса о конгруэнтности может быть подкреплено указанием, что мы, конечно, свободны устанавливать референты для термина «конгруэнтный», *которого раньше не было*, потому что такая свобода может быть осуществлена в отношении любого не зафиксированного в семантическом смысле термина или ряда каких-то символов. Таким образом, они неверно истолковывают конвенциональность конгруэнтности только как специальное раздувание банального в семантическом отношении примера, ибо то же самое имеет место для всякого и всех лингвистических символов. Такую банальную трактовку мы будем называть «тривиальным семантическим конвенционализмом», или сокращенно ТСК.

Конечно, никто не будет отрицать, что термины «пространственный конгруэнтный» и «конгруэнтный во времени», пока они являются *незафиксированными* строгим образом символами, вполне равноправны в отношении тривиальной конвенциональности семантических правил, управляющих их использованием, как и любые лингвистические символы. Таким образом, ни один благоразумный человек не будет оспаривать, что примитивное представление о конвенциональном использовании термина «конгруэнтный»,

«которого раньше не было», есть в действительности один из моментов ТСК. Однако было бы серьезным заблуждением отождествлять доктрину Римана — Пуанкаре, согласно которой приписывание конгруэнтности, или отношения равенства, пространственным или временным интервалам является делом конвенции, с банальным утверждением, согласно которому употребление нового термина «конгруэнтный» также конвенционально. Поэтому вывод о том, что принцип Римана — Пуанкаре является только ярко выраженным специальным случаем ТСК, абсолютно неверен, поскольку эти математики отстаивают не доктрину о семантической свободе, позволяющей нам использовать незафиксированный термин «конгруэнтный», а выдвигают несемантическое утверждение о том, что континуум физического пространства и времени не имеет внутренне присущей ему метрики. И метрическая аморфность этого континуума *объясняет*, почему даже *после* того, как слово «конгруэнтный» благодаря аксиомам конгруэнтности приобрело семантическое значение в качестве предиката пространственного или временного *равенства*, конгруэнтность сохраняет неопределенность в том смысле, что эти аксиомы все же допускают бесконечное число взаимно исключающих классов конгруэнтных интервалов. Поэтому для того, чтобы показать, что только конвенциональный выбор одного из этих классов конгруэнтности может дать единый стандарт равенства длин, используются принципиально несемантические соображения. Короче говоря, утверждение о конвенциональном характере конгруэнтности есть утверждение не об употреблении слова «конгруэнтный», а о характере условий, относящихся к *получению* отношения равенства определенного вида, обозначаемого термином «конгруэнтный». Ибо возможность введения различных метрик не есть вопрос о свободе использования, как нам нравится, семантически неопределенного слова «конгруэнтный», а есть вопрос о *неуникальности* отношения, которое выражает *уже существующий* термин как предикат *физического пространственного (или временного) равенства*. Эта *неуникальность* возникает из отсутствия *внутренней метрики* в непрерывных многообразиях *физического пространства и времени*.

Философский статус конвенционального характера конгруэнтности у Римана и Пуанкаре полностью аналогичен статусу конвенционального характера одновременности у Эйнштейна. Так, например, если считать верными рассу-

дения Эддингтона по поводу банального смысла конвенциональности в понимании Римана и Пуанкаре, то (как мы это сейчас увидим) из точно таких же аргументов следует, что формулирование Эйнштейном конвенционального характера одновременности¹ будет не более чем изображением в напыщенном стиле весьма поверхностного соображения о том, что неопределенное слово «одновременный» можно использовать, как нам нравится.

Фактически вследствие полного сходства в философском отношении конвенционального характера конгруэнтности и конвенционального характера одновременности, которое мы собираемся показать, будет полезно объединить эти два положения в одно под названием «геохронометрического конвенционализма», или сокращенно ГК.

Мы видели, что в случае пространства и времени конгруэнтность устанавливается согласно конвенции в ином смысле, отличающемся от утверждения, что термин «конгруэнтный» до того, как он получает определенное семантическое значение, может означать все, что мы пожелаем. *Mutatis mutandis* мы сейчас хотим показать, что точно то же самое имеет место и в отношении конвенционального характера метрической одновременности. Коль скоро мы обеспечим такое доказательство, мы тем самым покажем также, что ни одна из конвенциональных компонент в нашем обобщенном тезисе ГК не является частью ТСК.

Следуя ходу мыслей Эйнштейна в специальной теории относительности, мы прежде всего подчеркнем, что *выражение* (*noise*) «топологически одновременно» означает отношение *не быть* связанным физической причинной (сигнальной) цепью, то есть выражает отношение, которое может иметь место между двумя физическими событиями. Теперь мы поставим вопрос, будет ли это определение единственным в смысле гарантии, что одно и только одно событие в точке Q будет топологически одновременно с данным событием, происходящим где-то в пространстве в точке P ? Ответ на этот вопрос зависит от фактов природы, а именно от диапазона причинных цепей, существующих в физическом мире. Таким образом, раз вышеприведенное определение дано, вопрос о его единственности не может

¹ А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, § 1, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 7. О деталях см. ниже, главу двенадцатую.

быть решен на основании правил семантической конвенции. Далее, если мы вместе с Эйнштейном предположим, как факт природы, что распространение света *в вакууме* есть наиболее быстрая причинная цепь, то этот постулат будет иметь следствием не уникальность данного выше определения «топологической одновременности», и, следовательно, отношение *топологической* одновременности не будет транзитивным. Напротив, если факты физического мира имеют такую структуру, какую предполагал Ньютон, эта не уникальность не будет существовать. Следовательно, структура фактов мира, постулированная теорией относительности, не позволяет использовать данное выше определение «топологической одновременности» в качестве правила метрической синхронизации часов в пространственно разделенных точках P и Q . Дополняя этот результат релятивистским предположением о том, что перемещаемые часы не определяют абсолютной метрической одновременности, мы видим, что факты мира оставляют *неопределенным* отношение равенства в смысле метрической одновременности, так как они не придают отношению топологической одновременности уникального характера, который ему необходим для того, чтобы оно могло служить также и базисом метрической одновременности. Поэтому формулирование данной неопределенности и заключение о том, что *метрическая одновременность определяется соглашением*, никоим образом не равносильно чисто семантическому утверждению, что нужно дать только физическую интерпретацию неустановленному выражению «метрическая одновременность», прежде чем выяснять его значение, и что данная интерпретация есть вопрос тривиального соглашения.

Отнюдь не будучи утверждением о требовании приписать лингвистическому выражению семантическое значение, которое у него отсутствует, высказывание о фактуально неопределенном характере метрической одновременности относится к *фактам природы*, которые находят выражение в существующей не уникальности определения «топологической одновременности», поскольку последнее уже дано. Таким образом, нельзя толковать эту существующую не уникальность как следствие того, что Эйнштейн не нашел нужным сказать нам о том, что он понимает под термином «одновременность». К тому же мы сталкиваемся здесь с некой логической брешью, которую необходимо заполнить с помощью определения. Это аналогично случаю с конгруэнт-

ностью, когда непрерывность пространства и времени вытекает из неуникальности, остающейся *после* того, как аксиомам конгруэнтности дана пространственная или временная интерпретация. Что мы имеем в виду, когда говорим, что метрическая одновременность не является полностью фактуальной, но содержит и конвенциональный ингредиент? Мы утверждаем, что существует неуникальность или логическая брешь, которые можно устранить не обращением к фактам, а только путем конвенционального выбора единственной пары событий в P и Q , в качестве *метрически* одновременных, из класса пар, одновременных топологически. И когда мы утверждаем, что это является великим философским (равно как и физическим) вкладом Эйнштейна, раскрывающим конвенциональный характер метрической одновременности, мы приписываем Эйнштейну не тривиальное в семантическом понимании определение смысла выражения «метрически одновременный», а в противоположность природе отвергают требуемый вид семантической однозначности в отношении общепринятого термина «одновременный». Короче говоря, взгляды Эйнштейна, согласно которым метрическая одновременность имеет конвенциональный характер, являются вкладом в теорию времени, а не в семантику, потому что они *касаются характера условий, определяющих реализацию отношения, обозначаемого термином «метрическая одновременность».*

Конвенциональный характер метрической одновременности формулируется именно без какой-либо ссылки на относительное движение различных галилеевых систем и не зависит от того, что существует относительность или несовпадение одновременности в различных галилеевых системах. Напротив, как будет подробно показано в главе двенадцатой, именно конвенциональный характер одновременности приводит к логической схеме, в рамках которой может быть понята прежде всего относительность одновременности: если каждый наблюдатель, находящийся в галилеевой системе, примет определенное правило метрической синхронизации, установленное Эйнштейном в первой его основополагающей статье¹, — правило, которое соответствует значению $\varepsilon = 1/2$ в обозначении, предложенном Рей-

¹ А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, § 1.

хенбахом¹, тогда относительное движение галилеевых систем приводит к выбору в качестве метрически одновременных *различных пар событий* из класса событий, топологически одновременных в P и Q , — результат, воплощенный в хорошо известной диаграмме Минковского.

При обсуждении определения одновременности² Эйнштейн выделяет курсивом слова «вводя определение», когда он говорит, что равенство скорости света туда и обратно между двумя точками A и B есть вопрос определения. Таким образом, он утверждает, что установление метрической одновременности есть вопрос определения или соглашения. Неужели незадачливые критики полагают, что кто-то поверит тому, будто Эйнштейн выделил эти слова курсивом, чтобы показать читателю, что выражение «одновременный» может быть использовано так, как мы пожелаем? По-видимому, они исходят из этого заключения. Да и как иначе они могут решить проблему согласования эйнштейновой открыто конвенционалистской концепции метрической одновременности с их тривиальным в семантическом смысле ГК? Патнэм, один из защитников точки зрения, согласно которой конгруэнтность имеет конвенциональный характер, и это положение является одной из составных частей ТСК, пытался преодолеть эту трудность в следующем направлении: в случае конгруэнтности интервалов никого не беспокоит использование обычного определения³, но в случае одновременности мы сталкиваемся с действительными противоречиями при использовании обычного классического определения метрической одновременности, которое основывается на перемещении часов и которое нарушается в силу зависимости скорости хода часов от скорости перемещения.

Но возражение Патнэма является неверным. Ибо ссылка на то, что Эйнштейн признал классическое определение метрической одновременности несостоятельным, объясняет только его отказ от последнего, но не проясняет — как это имеет место в случае конвенционального характера конгруэнтности — логический статус *некоторого множества* определений, которое Эйнштейн предлагает на его место. Таким

¹ H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, New York: Dover Publications, 1957, p. 127.

² А. Эйнштейн, *К электродинамике движущихся тел*, § 1.

³ Обсуждая в главе двенадцатой измерение времени на вращающемся диске с точки зрения общей теории относительности, мы увидим, что существует один смысл «беспокойства», для которого утверждение Патнэма не имеет силы.

образом, выдвигая это возражение, Патнэм не сознает, что логический статус эйнштейновых правил синхронизации не вполне адекватно выражается высказыванием, что, поскольку классическое определение метрической одновременности несостоятельно, эйнштейновы правила автоматически оказываются справедливыми. Здесь нуждается в объяснении лишь *существо логического шага*, который привел Эйнштейна к данной схеме процедуры синхронизации в широких рамках множества правил, альтернативных определений метрической одновременности, причем в силу неуникальности топологической одновременности любое из этих правил является справедливым. Такое объяснение дается, как мы видим, на основе тезиса о конвенциональном характере метрической одновременности.

Философский анализ конвенционального характера утверждений о конгруэнтности двух интервалов или о метрической одновременности двух физических событий показывает, что эта конвенциональность не есть следствие лингвистических предложений, с помощью которых выражается отношение равенства интервалов, или то, что между двумя физическими событиями существует отношение метрической одновременности. Напротив, существенный момент конвенциональности состоит в том, что даже после того, как мы определили, какие соответствующие лингвистические высказывания будут выражать эти положения, соглашение остается составной частью каждого из них, то есть в самом установлении отношения конгруэнтности интервалов или отношения метрической одновременности событий.

Эти соображения позволяют нам ясно показать неверное понимание конвенционального характера конгруэнтности, жертвами которого пали Эддингтон и современные сторонники тривиального истолкования конгруэнтности, опирающиеся на *теорию моделей*. Напомним аргументацию этих критиков: «Теория моделей неинтерпретированного формального исчисления показывает, что в системе физической геометрии (или хронометрии) вообще не может быть основания для эпистемологического различия между фактуальными высказываниями, с одной стороны, и высказываниями о жесткости (или изохронизме), которые предполагаются конвенциональными, — с другой. Ведь поскольку мы свободны принять необычную пространственную интерпретацию, скажем, абстрактного символа «точка» в формальной геометрической системе, равно как и символа «конгруэнт-

ный», постольку и физическая интерпретация отношения, связанного с термином «конгруэнтный» (для линейных отрезков) не может занимать эпистемологически выделенного положения среди семантических правил, осуществляющих интерпретацию формальной системы, и все они равноправны в отношении конвенциональности.

Но это возражение не учитывает того, что а) установление отношения пространственной конгруэнтности открывает простор для действия соглашений, так как независимо от какой-либо формальной геометрической системы, которой дается интерпретация, термин «конгруэнтный» как *предикат* пространственного равенства функционирует в *необычной* пространственной интерпретации с неменьшим успехом, чем в обычной интерпретации; б) следовательно, подходящие альтернативные пространственные интерпретации термина «конгруэнтный» и соответственно «прямая линия» («геодезическая») показывают, что всегда существует реальный выбор (подверженны ограничениям, налагаемым существующей топологией) дать евклидово или неевклидово описание одной и той же системы физико-геометрических фактов; и в) наоборот, возможность альтернативной пространственной интерпретации других основных понятий соперничающих геометрических систем, таких, как «точка», еще не выявляется в этом выборе. Нам важно отметить, что сами эмпирические факты не диктуют однозначно истинность либо евклидовой, либо одной из конкурирующих с ней неевклидовых геометрий в силу отсутствия у пространства внутренне присущей ему метрики. Таким образом, в данной ситуации различные пространственные интерпретации термина «конгруэнтный» (и, следовательно, «прямая линия») в соответствующей геометрической системе играют в философском отношении иную роль, чем интерпретации других основных понятий этих систем, таких, как «точка», так как последние имеют вообще одно и то же пространственное значение как в евклидовом, так и в неевклидовом описаниях. Особое положение, которое занимает интерпретация «конгруэнтности» в этой ситуации, становится очевидным, когда мы перестаем смотреть на физическую геометрию как на пространственно интерпретированную систему абстрактной *синтетической* геометрии и начинаем рассматривать ее как интерпретированную систему абстрактной *дифференциальной* геометрии типа Гаусса — Римана. Посредством выбора специфической функции расстояния $ds = \sqrt{g_{ik} dx^i dx^k}$

для линейного элемента мы определяем не только, какие отрезки конгруэнтны и какие линии прямые (геодезические), но и определяем геометрию в целом, так как метрический тензор g_{ik} полностью определяется гауссовой кривизной K . Несомненно, если обсуждается не альтернатива между евклидовым и неевклидовым описаниями одних и тех же пространственных фактов, а множество всех моделей (включая и непространственные модели) данной системы, скажем евклидовой, тогда, конечно, физическая интерпретация понятий «конгруэнтный» и «прямая линия» не заслуживает большего внимания по сравнению с интерпретацией других основных понятий, таких, как «точка»¹.

Патнэм и Файерабенд сделали следующий вывод из обвинения в тривиальности, которое выдвинул Эддингтон: ГК должен быть частью ТСК потому, что ГК имеет *bona fide* аналогию во всякой отрасли человеческого исследования, так что ГК не может рассматриваться как понимание структуры пространства и времени. Как считает Эддингтон:

Закон Бойля говорит, что давление газа пропорционально его плотности. Опыт показывает, что этот закон верен только приближенно. С математической точки зрения мы бы достигли некоторого упрощения, если бы приняли такое новое определение *давления*, чтобы закон Бойля соблюдался в точности. Но было бы нерационально применять в этом смысле слово *давление*, пока не установлено, что физику не придется им пользоваться в его первоначальном смысле².

Файерабенд отмечает, что Эддингтон имеет здесь в виду следующее: вместо того, чтобы пересмотреть закон Бойля

$$pv = RT$$

в пользу закона Ван-дер-Ваальса

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT,$$

мы сохраняем формулировку Бойля, вводя новое опреде-

¹ Мы говорим об определенном *неинтерпретированном* формальном исчислении, таком, как система синтетической или дифференциальной геометрии. Однако необходимо учесть, что *до того*, как дана *пространственная* интерпретация, эти абстрактные дедуктивные системы являются *геометриями* не более, чем, строго говоря, теоретические системы в генетике или что-либо еще; они называются геометриями, видимо, только «потому, что достаточно большое число компетентных людей, руководствуясь своими склонностями и традициями, считают это название правильным» (О. В е б л е н и Д ж. У а й т х е д, Основания дифференциальной геометрии, ИЛ, М., 1949, стр. 31).

² А. Э д д и н г т о н, Пространство, время и тяготение, стр. 10.

ление «давления», которое обозначается теперь символом P , и полагая

$$P = \text{Def} \left(p + \frac{a}{v^2} \right) \left(1 - \frac{b}{v} \right).$$

В том же духе Патнэм утверждает, что вместо использования феноменалистически (наивно реалистически) окрашенных слов, как мы это обычно делаем в английском языке, можно принять новое употребление для таких слов, которое будет называться *spenglish*, и выражается оно в следующем: мы берем белый кусок мела, который, к примеру, перемещаем по комнате, и принимаем правило, что в зависимости от той части наблюдаемой области, где находится кусок, цвет его будет при постоянных условиях освещения называться зеленым, синим, желтым и т. д., а не белым.

Конечно, это факт, что в реальной практике научных исследований, например в общей теории относительности, поощряются и используются процедуры введения иных метрик, основанных на необычном определении временной конгруэнтности¹. Научная практика не знает подобного патнэмовскому *spenglish*, то есть *зависимого от пространства* (или *зависимого от времени*) использования феноменалистических (наивно реалистических) названий цветов для обозначения цвета данного объекта в различных местах пространства (или в различные моменты времени) при сходных условиях освещения². Согласно Эддингтону и Патнэму, необычное применение термина «конгруэнтность», несмотря на отсутствие подобного использования цветовых предикатов, является не более чем фактом, характеризующим

¹ Странники использования в науке обычного языка, для которых «обычный человек» является, видимо, мерой всех вещей, захотят исключить необычные определения конгруэнтности как незаконные в лингвистическом отношении. Однако им следует помнить, что использование обычного научного определения конгруэнтности во всяком геохронометрическом описании является обязательным для ученого (или философа, разрабатывающего философские проблемы науки) не в большей степени, чем, скажем, для студента-механика обязательно вкладывать обыденный смысл в понятие «работа», который отличен от смысла этого понятия в механике, а именно как интеграла скалярного произведения силы на перемещение.

² Термин *spenglish*, видимо, образован из двух начальных букв английского слова «space» — «пространство» и слова «english» — «английский язык» и должен, по всей вероятности, означать «английский язык, зависящий от пространственных отношений». — *Прим. перев.*

использование языка в нашем обществе. Мы видели, что использование различных языков в специфически геохронометрической ситуации отражает фундаментальные *структурные свойства* фактов, к которым относятся эти различные описания. Сейчас мы должны доказать, что предложенные Эддингтоном и Патнэмом аналогии ГК являются *псевдоаналогиями* и не могут доказать, что всякая эмпирическая область характеризуется свойством, аналогичным ГК. Однако я должен подчеркнуть, что мое возражение против ранее упомянутых аналогий не направлено на отрицание существования той или другой подлинной аналогии, а только на отрицание того, что тезис ГК является тривиальным в силу относительно малого числа *bona fide* аналогий, какие можно было бы получить.

Существенный момент в оценке неоспоримости указанных аналогий заключается в следующем: можно ли рассматривать области, из которых выведены эти аналогии (то есть феноменалистические или наивно реалистические представления о цветовых свойствах, феномен давления и т. д.), как *структурные* двойники а) тех фактуальных свойств мира, которые постулируются теорией относительности и приводят к неуникальности топологической одновременности, и б) тех постулированных топологических свойств физического пространства и времени, которые приводят к неуникальности соответствующих пространственных и временных интерпретаций, допускаемых аксиомами конгруэнтности? Или примеры приводимых Эддингтоном и Патнэмом аналогий конвенционального характера метрической одновременности или конгруэнтности являются только аналогиями в убогом тривиальном смысле, а именно, представляют просто иные в языковом отношении эквивалентные описания, и у них отсутствует следующее решающее свойство, присущее геохронометрическому случаю: альтернативные метризации суть языковые толкования или реверберации, так сказать, *структурных свойств*, гарантирующих вышеупомянутые два рода неуникальности, которые сформулированы в ГК? Если данные примеры являются аналогиями только в слабом поверхностном смысле — а мы покажем, что это действительно так, — то чего в таком случае достигли своими примерами Эддингтон и Патнэм? Они дали только иллюстрацию правильности ТСК, не доказав при этом, что их примеры равноправны с геохронометрическим случаем. Короче говоря, их примеры никоим образом не доказыва-

ют справедливости их утверждения, что ГК является частью ТСК.

Мы сейчас покажем, что эти примеры оказались неудачными, потому что а) области, к которым они имеют отношение, не обнаруживают структурных черт, сходных с теми свойствами мира, которые обуславливают *неуникальность* определений топологической одновременности и аксиом пространственной или временной конгруэнтности, и б) пример Патнэма в отношении spenglish в действительности является иллюстрацией только тривиальной конвенциональности всякого языка: никакое структурное свойство области цветовых явлений (как в примере с мелом) не дает возможности истолковать его с помощью spenglish-описания.

Чтобы сформулировать наши возражения тезису Эддингтона — Патнэма, рассмотрим следующие два утверждения:

А) У лица X отсутствует желчный пузырь.

Б) Длина платино-иридиевого стержня, хранящегося в Бюро мер и весов в Париже (Север), всюду будет равна одному метру, а не какому-то иному числу метров (при допущении существования «дифференциальных сил»).

Мы утверждаем, что существует *фундаментальное различие* между значениями, в которых каждое из этих утверждений можно рассматривать как конвенциональное, и мы будем именовать эти соответствующие значения как «А-конвенциональность» и «Б-конвенциональность»: в случае высказывания (А) конвенциональным является только использование данного предложения для передачи утверждения о том, что лицо X не имеет желчного пузыря, а не фактуальное содержание, выражаемое данным предложением. Эта А-конвенциональность представляет собой пример слабого тривиального выражения ТСК. С другой стороны, высказывание (Б) конвенционально не только в том тривиальном смысле, что используемое английское предложение может быть заменено французским или предложением на любом другом языке, но и в более сильном и глубоком смысле, а именно оно не является фактуальным утверждением о том, что парижский стержень имеет всюду длину один метр, даже после того, как мы установили, какое предложение или какая последовательность звуков выражают это утверждение. Короче говоря, в (А) семантические конвенции *используются*, в то время как в (Б) семантическая конвенция *упоминается*. Далее, мы утверждаем, что аналогии, предложенные Эддингтоном и Патнэмом,

иллюстрируют конвенциональность только в смысле *A*-конвенциональности и потому не могут опровергнуть нашего утверждения, что геохронометрическая конвенциональность не является тривиальной, а имеет характер *B*-конвенциональности.

В частности, мы утверждаем, что высказывания о феноменах цвета являются чисто эмпирическими высказываниями и относятся только к *A*-конвенциональности, а не к *B*-конвенциональности, в то время как важный класс высказываний геохронометрии характеризуется иной, более глубокой конвенциональностью, относящейся к *B*-конвенциональности. Что именно конвенционально в случае цвета данного куска мела, который кажется белым в различных областях поля зрения? Мы отвечаем: только наше привычное решение использовать одно и то же слово для обозначения качественно различных проявлений того же самого белого мела в различных областях поля зрения. Однако не конвенциональным является то, будет ли кусок мела в различных положениях характеризоваться одним и тем же феноменологическим цветовым свойством (в пределах точности, обусловленной неопределенностью) и будет ли он «конгруэнтным с самим собой в цветовом отношении» или нет! Конвенциональными являются только названия цветов, а не наличие свойства цвета и цветовой конгруэнтности. Наличие цветовой конгруэнтности не конвенционально совершенно независимо от того, обозначаются одним и тем же словом различные оттенки цвета или нет. Другими словами, соглашение существует не относительно того, обладают ли два объекта или один и тот же объект в разных положениях при сходных оптических условиях одним и тем же феноменологическим свойством белого цвета (пренебрегая неопределенностью), а только относительно того, обозначает ли слово «белый» оба эти объекта или один объект в различных положениях, или же один из них (в случае примера Патнэма с мелом), или же никакой. И различное цветовое описание *не воспроизводит никаких структурных фактов* из области цветов и поэтому совершенно тривиально.

Хотя пример Патнэма с мелом и неудачен в этом решающем отношении, все же может быть *bona fide* предпринята ложная попытка отнести его к разновидности пространственной конгруэнтности при помощи правила, которое ставит название цвета в *зависимость от пространственного*

положения: это правило заключается в том, чтобы различные выражения (названия цветов) применялись для обозначения одних и тех же де-факто цветовых свойств, реализующихся в различных частях пространства. Однако с помощью этой уловки нельзя обойти тот факт, что если утверждение о возможности приписывать перемещающемуся стержню длину, зависящую от пространства, отражает в языке объективное отсутствие внутренне присущей пространству метрики, то использование зависимых от пространства названий цветов не отражает соответствующего свойства области феноменологических цветов в сфере зрительных ощущений. Короче говоря, феноменологический цвет есть проявление некоторого внутренне объективного свойства, и феноменологическая цветовая конгруэнтность представляет собой объективное отношение (в пределах точности, допускаемой неопределенностью восприятий). Однако длина тела и конгруэнтность несовпадающих интервалов являются конвенциональными в ином смысле. Критический анализ взглядов Уайтхеда покажет нам правильность этого вывода, поскольку два несовпадающих интервала могут *выглядеть* как пространственно конгруэнтные, подобно тому как два цветowych пятна могут восприниматься как конгруэнтные по цвету.

Теперь рассмотрим пример Эддингтона. Он касается сохранения языка, на котором сформулирован закон Бойля, для описания *новых фактов*, подтверждаемых законом Вандер-Ваальса, путем приписывания нового значения слову «давление», как об этом говорилось ранее. Обычное понятие давления имеет геохронометрические ингредиенты (сила, площадь), и любое изменение определения геохронометрической конгруэнтности приведет, конечно, к изменениям представлений относительно того, какие давления следует считать равными. Однако конвенциональный характер геохронометрических ингредиентов не имеет отношения к предмету спора; наш вопрос состоит в следующем: какие *структурные особенности* области феноменов давления свидетельствуют в пользу возможности вышеприведенной лингвистической транскрипции Эддингтона? Ответ ясен: *никакие*. В отличие от ГК этот тезис о «конвенциональном характере понятия давления», если его формулирование опирается на пример Эддингтона, относится к А-конвенциональности и, таким образом, есть только специальный случай ТСК. В данном случае мы видим, что два давления, равные согласно обычному определению, будут равны (конгруэнт-

ны) и согласно предполагаемому новому определению этого термина. За исключением явно геохронометрических ингредиентов, которые здесь не обсуждаются, область давлений не обладает никакими структурными свойствами, которые отражались бы в различных определениях «давления» и которые мы могли бы рассматривать в качестве дубликатов отсутствия внутренней метрики пространства.

Абсурдность уподобления конвенционального характера пространственной или временной конгруэнтности конвенциональности выбора между двумя вышеприведенными значениями «давления» или между английским и spenglish обозначением цвета становится очевидной при рассмотрении того, как реализуется конвенциональный характер конгруэнтности в теоретико-групповой трактовке конгруэнтности и метрической геометрии Клейном и Ли. Их исследования, как мы это сейчас увидим, точно так же доказывают, что невозможность выбора уникального конгруэнтного класса интервалов означает далеко не то же, что и наличие семантически нефиксированного произношения термина «конгруэнтный», и поэтому неверны утверждения Эддингтона и Патнэма, что эта неуникальность есть только специфический пример семантической неуникальности всех нефиксированных выражений.

Эрлангенская программа Феликса Клейна (1872 год) в трактовке геометрий с точки зрения теории групп пространственных преобразований основывалась на следующих двух наблюдениях: во-первых, свойства, в силу которых пространственная конгруэнтность имеет логический статус отношения равенства, зависят от того, что перемещения задаются группой преобразований, и, во-вторых, конгруэнтность двух фигур состоит в их трансформируемости одна в другую посредством некоторого точечного преобразования. Продолжая рассуждения Клейна, Софус Ли показал затем, что в контексте этой теоретико-групповой формулировки метрической геометрии конвенциональный характер конгруэнтности выражается в том, что, во-первых, множество всех непрерывных групп в пространстве, обладающем свойством перемещений в ограниченной области, подразделяется на три вида, характеризующие соответственно геометрии Евклида, Лобачевского — Больяй и Римана¹, и, во-вторых, для каждой из этих метрических геометрий существует

¹ R. Bonola, *Non-Euclidean Geometry*, New York: Dover Publications, 1955, p. 153.

не один, а бесконечно большое число классов конгруэнтности¹. Этот же результат мы получим в главе третьей, не обращаясь к теоретико-групповой точке зрения. Согласно тезису Эддингтона — Патнэма, глубокие и поистине блестящие открытия Ли точно так же, как и относительность одновременности и конвенциональный характер временной конгруэнтности, следует отнести в разряд тривиальной семантической конвенции наравне с рассуждениями о *sprenglich*-трактовке цветов.

Как ранее было отмечено, эти возражения против утверждения Эддингтона — Патнэма, что ГК имеет *bona fide* аналогии во всякой эмпирической области, не направлены на отрицание существования той или другой подлинной аналогии, а только на отрицание того, что ГК является тривиальным в силу того, что такие *bona fide* аналогии могут быть получены относительно редко. Патнэм дал один пример, который, видимо, можно оценить именно как такую *bona fide* аналогию. Этот пример отличается от его случая с цветом тем, что не только название, данное свойству, но и сходство названных свойств следующим образом зависит от пространственного положения: когда два тела находятся в том же самом месте пространства, их тождество в отношении определенного свойства фактически имеет место, но, когда они (достаточно) разделены в пространстве, никаких объективных отношений тождества или различия, связанных с данным свойством, для них не существует. В этом последнем случае решение вопроса о том, приписывается ли им в этом отношении тождество или различие, уже становится делом соглашения.

Положим, в частности, что мы не стремимся давать определение массы, адекватное классической механике, и, следовательно, игнорируем определение массы, данное Махом². В таком случае мы можем принять гипотетическое определение отношения «равенство по массе» Патнэма, согласно которому два тела, уравнивающие друг друга по соответствующей шкале, в каком-то по существу одном и том же месте пространства имеют равные массы. Если, по определению Маха, равенство масс двух тел фактически не зависит от величины расстояния, разделяющего их в

¹ A. N. Whitehead, *The Principle of Relativity*, Ch. iii, p. 49.

² Ясную оценку этого определения см. в: L. Page, *Introduction to Theoretical Physics*, pp. 56—58.

пространстве, то, по определению Патнэма, такое разделение оставляет отношение «равенство по массе» неопределенным. Следовательно, по определению Патнэма, является вопросом соглашения, а) говорим ли мы, что две массы, уравновешенные в данном месте, сохраняют это равенство и после того, как они удалены друг от друга в пространстве, или б) делаем ли мы массы двух тел зависящими от положения в пространстве так, что две массы, уравновешенные в одном месте, при разделении, окажутся различными определяемыми некоторой функцией координат. Конвенциональность, возникающая в примере Патнэма с массами, не есть следствие ГК, а логически независима от него. Ибо здесь источником конвенциональности является не пространственная конгруэнтность несовпадающих интервалов, а пространственное положение.

Однако верный характер аналогии с массами Патнэма не может поколебать наш прежний вывод о том, что мы должны придавать совсем иное значение альтернативным метрическим геометриям или хронометриям, как эквивалентным описаниям одних и тех же фактов, по сравнению с альтернативными типами высказываний о визуальном цвете, как эквивалентных описаниям одних и тех же феноменологических данных. Кроме того, мы должны придавать гораздо большее значение способности отразить фактуально различные геохронометрические состояния 'событий посредством одной и той же геометрии или хронометрии, связанной соответственно с различными определениями конгруэнтности, чем формулированию закона Бойля и закона Ван-дер-Ваальса, различных по своему содержанию, посредством одинаковой формы, подчиняющейся соответственно различным семантическим правилам. Короче говоря, существует важное отношение, в котором физическая геохронометрия менее эмпирична, чем все или почти все негеохронометрические составляющие других наук.

Д. Бриджмен

Мы основывали конвенциональный характер пространственной и временной конгруэнтности на непрерывности многообразий пространства и времени. Но, доказывая, что «истинных», абсолютных или внутренне присущих этим континуумам жесткости и изохронности не существует, мы не ссылались ни на какие гомоцентрические операцио-

нальные критерии фактуального значения. Так, мы не говорили, что действительные и возможные неудачи операций, осуществляемых человеком с целью обнаружения «истинной жесткости», определяют или ее отсутствие, или бессмысленность представлений о ней. Поэтому хотелось бы сравнить нашу аргументацию в пользу тезиса Римана о конвенциональном характере жесткости и изохронности с рассуждениями тех, кто подходит к понятию конгруэнтности, основываясь на невозможности проверки или на операциональном истолковании научных понятий. Так, Клиффорд пишет: «Мы определяли длину или расстояние при помощи меры, которую можно было *переносить без изменения ее длины*. Но как установить сам факт существования такого свойства меры?.. Не может ли, однако, случиться, что длины действительно изменяются в силу одного лишь перемещения, причем мы не отдаем себе в этом отчета? Кто пожелает поразмыслить серьезно над этим вопросом, найдет, что вопрос этот совершенно лишен смысла»¹.

Мы видели, что в нашей системе римановых идей длина *реляционна (relational)*, а не абсолютна в двух смыслах: во-первых, длина, очевидно, зависит численно от используемых единиц и, таким образом, произвольна с точностью до постоянного множителя, и, во-вторых, в силу отсутствия внутренне присущей метрики постоянство или изменение длины, которой обладает тело в различных точках пространства и в различные моменты времени, состоит в постоянстве или изменении соответственно отношения этого тела к конвенционально выбранному стандарту конгруэнтности. Изменяется это отношение или нет, совершенно не зависит от знания человеком этого факта: число раз, которое данное тело *B* содержит определенные (жесткие) единицы, есть свойство, которое человек с помощью измерительных операций приписывает *B*. Как заметил Рейхенбах, «таким образом, объективный характер физического утверждения [относящегося к геометрии физического пространства] *сдвигается к утверждению касательно отношений... Это утверждение об отношении между вселенной и жесткими телами*»¹. Следовательно, относительный характер длины обусловлен прежде всего не тем, как человек производит измерение

¹ В. Клиффорд, Здравый смысл точных наук, Петроград, 1922, стр. 52—53.

² H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 37 (курсив в оригинале).

длины, а тем, что континуум физического пространства не обладает внутренне присущей ему метрикой; это отсутствие метрики совершенно не связано с нашими измерительными операциями. В действительности именно этот относительный характер длины предписывает и регулирует те человеческие операции, которые имеют целью ее обнаружение. Поскольку прежде всего не существует самого свойства истинной жесткости, которое человек хочет обнаружить с помощью какой-либо проверки, никакая проверка не может выявить его существования. Следовательно, невозможность установить истинную жесткость с помощью совершаемых человеком операций есть следствие ее несуществования в физическом пространстве и только доказывает это несуществование, но не обуславливает его.

Ввиду этого негомоцентрического реляционного понятия длины сразу очевидна полная бессодержательность следующего утверждения: накануне *все расширилось* (увеличилась длина), но так, что все *отношения* длин сохранились неизменными. То, что указанное «расширение» недоступно какой-либо проверке человеком, очевидно, объясняется тем, что оно не может быть установлено; изменение отношений между всеми телами и стандартом конгруэнтности, которое должно было бы определить расширение, очевидно, не может быть материализовано¹.

Мы видим, что теория реляционной длины и, следовательно, частное утверждение о бессодержательности высказываний о внезапном расширении мира не зависят от обоснования значения метрических понятий длины и длительности, исходя из их проверяемости человеком или его манипуляций со стержнями и часами в смысле гомоцентрического операционализа Бриджмена. Кроме того, существует более глубокий смысл, в котором риманово признание необходимости точного определения критерия конгруэнтности не влечет за собой операционального определения конгруэнтности и длины. Определение «конгруэнтности» на основе совпадений перемещаемых твердых стержней становится правилом соответствия (координативным определением) *благодаря гипотезам и законам, второстепенным по отношению к абстрактной геометрии, для которой стре-*

¹ Подробное обсуждение физической содержательности и бессодержательности гипотезы удвоения размеров за ночь см в: A. Grünbaum, *Geometry and Chronometry in Philosophical Perspective*, Ch. II, § 1 and Ch. III, § 6.

мятся найти физическую интерпретацию. Ибо в физических законах обычно учитываются поправки на температурную и другие виды деформации жестких стержней, изготовленных из различных материалов, и эта поправка входит в определение «конгруэнтности». Таким образом, в случае «длины» так же, как и во многих других случаях, операциональные определения (в любом специфическом смысле термина «операциональный») представляют собой весьма идеализированные и ограниченные виды правил соответствия даже если определение «длины» часто представляется как прототип всех «операциональных» определений в смысле Бриджмена.

Дальнейшая иллюстрация этого приводится Рейхенбахом, который рассматривает определение единиц длины на основе длины световой волны кадмия, а также с помощью определенной части окружности Земли и говорит: «Какое расстояние служит единицей действительного измерения, в конечном счете может быть определено только ссылкой на некоторое реальное расстояние... Мы говорим об измерительном стержне... что только «в конечном счете» эталон может представляться в такой форме, потому что мы знаем, что благодаря посредничеству концептуальных связей эталон может быть весьма отдаленным»¹. Еще более сильное отрицание операционального представления об определении «длины» вследствие невозможности с этой точки зрения учитывать роль вспомогательной теории дано Поппером. Он пишет: «В отношении доктрины операционализма, которая требует, чтобы научные термины, такие, как длина... должны быть определены на основе соответствующих экспериментальных процедур, очень легко можно показать, что все так называемые операциональные определения будут попадать в логический круг... Логический круг операционального определения длины... виден из следующих фактов: а) операциональное определение *длины* включает *температурные* поправки и б) (обычное) операциональное определение *температуры* включает измерения *длины*»².

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 128.

² K. R. Popper, The Logic of Scientific Discovery, London: Hutchinson and Co., 1959, pp. 440 and 440n. В главе четвертой мы увидим, как логический круг, преследующий операциональное определение длины, преодолевается в нашей схеме, где в формулировке определения конгруэнтности учитываются температурные и другие деформации.

В течение 1897—1900 годов Рассел и Пуанкаре вели спор, начатый в 1897 году рецензией¹ Пуанкаре на «Основания геометрии» Рассела и продолженный в ответе Рассела² и в возражениях Пуанкаре³. Рассел критиковал конвенционалистическое понятие конгруэнтности Пуанкаре и следующим образом провозглашал существование внутренне присущей пространству метрики:

Видимо, надо полагать, что, поскольку измерение [то есть сравнение посредством стандарта конгруэнтности] необходимо, чтобы вскрыть равенство или неравенство, последние не могут существовать без измерения. Тогда как истинное заключение прямо противоположно. Все, что можно открыть посредством операции, должно существовать независимо от этой операции: Америка существовала до Христофора Колумба, и два количества одного и того же рода должны *быть* равны или неравны до того, как они будут измерены. Любой метод измерения [то есть любое определение конгруэнтности] является хорошим или плохим в соответствии с тем, как он подтверждает результат, который или верен, или ложен. Пуанкаре, напротив, считает, что измерение создает равенство и неравенство. Отсюда следует [в таком случае]... что измерять нечего и что равенство и неравенство являются терминами, лишенными значения⁴.

Конечно, дискуссия о конгруэнтности между Расселом и Пуанкаре отличается от спора между неокантианской и эмпирической концепциями геометрии, который играл главную роль в «Основаниях геометрии» Рассела 1897 года.

Как мы упоминали в цитате из «Инаугурационной лекции» Римана в разделе Б, если пространство дискретно в некотором специфическом смысле, то «расстояние» между двумя элементами может быть внутренне определено. При этой возможности получение как длины любого данного интервала, так и пространственной конгруэнтности отдельных интервалов будет полностью независимо от поведения любого перемещаемого стандарта. Если пространство гранулировано таким образом, то логика обнаружения длины

¹ H. Poincaré, Des Fondements de la Géométrie, à propos d'un Livre de M. Russel, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VII (1899), pp. 251—279.

² B. Russell, Sur les Axiomes de la Géométrie, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VII (1899), pp. 684—707.

³ H. Poincaré, Sur les Principes de la Géométrie, Réponse à M. Russel, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VIII (1900), pp. 73—86.

⁴ B. Russell, Sur les Axiomes de la Géométrie, pp. 687—688.

аналогична логике открытия Колумбом Америки в примере Рассела; при этом роль измеряющего стержня будет в лучшем случае чисто эпистемологической. Ибо для эпистемологических целей в случае дискретности измеряющий стержень оказывается даже несущественным, поскольку самостоятельное определение числа ячеек или пространственных атомов, содержащихся в каждом из двух тел, будет выносить приговор их пространственной конгруэнтности до того, как любое сравнение этих тел осуществится с помощью перемещаемого стандарта конгруэнтности. Рассел не замечает, что, раз мы предполагаем непрерывность нашего физического пространства, конгруэнтность двух линейных отрезков не может быть выведена из обладания соответствующим внутренним метрическим атрибутом и что эта конгруэнтность зависит именно от их истинного существования, а не только от установления конгруэнтности путем сравнения с *внешним* стандартом, «жесткость», или самоконгруэнтность, которого при перемещении декретируется конвенцией. Именно сами тела или отрезки, а не их отношения пространственного равенства или неравенства существуют независимо от совпадения с ними перемещаемого стандарта конгруэнтности. *И для того чтобы установить зависимость именно наличия пространственной конгруэнтности между отдельными интервалами от применения перемещаемого стандарта конгруэнтности, не нужно смешивать эпистемологическую функцию измерения, состоящую в открытии нового, с фактами, установленными благодаря ему.* Следовательно, мы видим, что Пуанкаре не был виновен в следующей ошибке: если мы предполагаем, что физическое пространство непрерывно, то свойство длины в нем отличается от свойства открытия Колумбом Америки в примере Рассела прежде всего в силу различия соответствующих операциональных процедур, применявшихся для их обнаружения. Напротив, Пуанкаре опирался в своем примере на предположение о заранее существующем различии свойств, которые нужно было обнаружить, то есть различии, которое определяет операциональные процедуры, применяемые для их обнаружения, и придает им значение.

Поэтому, хотя мы и отвергаем аргумент Рассела против Пуанкаре, однако наша критика теоретико-модельного упрощения конвенционального характера конгруэнтности показывает, что мы должны также отвергнуть как неадекватную и следующую критику позиции Рассела, которую он спра-

ведливо рассматривал как *petitio principii*: «Утверждение Рассела есть абсурд, поскольку оно представляет собой отрицание того простого факта, что мы свободны давать любую физическую интерпретацию, какую мы хотим, таким абстрактным знакам, как «конгруэнтные линейные отрезки» и «прямая линия», а затем уже посмотреть, является ли эта произвольно обозначенная система объектов и отношений моделью той или иной абстрактной системы геометрических аксиом. Следовательно, чисто лингвистические соображения достаточны, чтобы показать, что не может быть никаких сомнений, в отличие от Рассела, в том, действительно ли равны два несовпадающих отрезка или нет независимо от того, выполняется ли измерение стандартом, обеспечивающим истинные в этом смысле результаты. В соответствии с этим осознание теоретико-модельной концепции геометрии показало бы Расселу, что 1) альтернативная метризуемость пространственного и временного континуума никогда никого не потрясла бы и не стала предметом спора, 2) его ставка в споре с Пуанкаре была не более, чем патетической игрой, в которой Рассел защищал обычное использование в языке термина «конгруэнтный» (для линейных отрезков), в то время как Пуанкаре утверждал, что мы не должны связывать себя обычным употреблением слов, а свободны также ввести и необычное их употребление».

Поскольку этот теоретико-модельный аргумент терпит полную неудачу в борьбе с основным предположением Рассела о внутренне присущей пространству метрике, он имел бы право отбросить его как поверхностное *petitio*, выдвинув точно такие же возражения против утверждения о возможности введения иной метрики пространства и времени, которые мы приписали ньютонианцу в конце раздела В. И Рассел мог бы указать далее, что теоретико-модельный подход не может обойти проблемы пространственного равенства, потому что 1) для каждой геометрии существуют такие аксиоматизации, которые обходятся без реляционного термина «конгруэнтный» (для линейных отрезков), и 2) в таком случае проблемы, какая физическая интерпретация этого соотносительного термина допустима, вообще не существует. Поскольку метрическая геометрия выполняет метрические сравнения равенства и неравенства, как бы скрыто и опосредованно она это ни делала, они могут быть изложены на ее языке. Поэтому совершенно несущественно, обозначается ли отношение пространственного

равенства между линейными отрезками термином «конгруэнтный» или с помощью другого термина или терминов. Таким образом, например, в аксиомах Тарского для элементарной евклидовой геометрии¹ в этих целях используется не термин «конгруэнтный», а четырехчленный предикат, обозначающий эквидистантное отношение четырех точек. Также и в теоретико-групповой трактовке Ли метрических геометрий конгруэнтности определяются группами точечных преобразований². Однако, поскольку Рассел опирается на свою концепцию внутренне присущей пространству метрики, чтобы поставить пределы допустимым пространственным интерпретациям «конгруэнтных линейных отрезков», он точно так же мог бы утверждать, что рассмотрение четверки физических точек как обозначения четырехчленных эквидистантных предикатов Тарского отнюдь не является произвольным, и он мог бы наложить соответствующие ограничения на преобразования Ли, поскольку перемещения, определяемые этими группами преобразований, имеют логический характер пространственных конгруэнтностей. Данные соображения показывают, что было бы недостаточно в данной ситуации принять за доказанную теоретико-модельную концепцию геометрии и на этом основании безапелляционно отклонить аргументацию Рассела и настаивать на возможности введения различных метрик. Скорее необходимо *опровергнуть основное предположение Рассела о внутренне присущей пространству метрике*. Чтобы выявить несостоятельность этого предположения, как это мы пытались ранее сделать, необходимо дать физическое обоснование теоретико-модельному утверждению о том, что данное множество пространственных физических фактов совпадения перемещаемого стержня в такой же мере можно рассматривать как реализацию евклидовой системы, как и неевклидовой, удовлетворяющей той же самой топологии.

Ж. Уайтхед

Уайтхед предложил *перцептуалистскую* интерпретацию аргумента Рассела, пытаясь обосновать наличие у физических пространства и времени внутренне присущей им метри-

¹ A. Tarski, What is Elementary Geometry? «The Axiomatic Method», ed. by L. Henkin, P. Suppes, and A. Tarski, Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1959, pp. 16—29.

² R. Bonola, Non-Euclidean Geometry, pp. 153—154.

ки на основе чувственных восприятий. Поэтому мы сейчас обратимся к исследованию понятия конгруэнтности у Уайтхеда.

Комментируя дискуссию Рассела — Пуанкаре, Уайтхед¹ утверждает следующее: во-первых, аргумент Пуанкаре в защиту возможности введения различных метрик неопровержим только в том случае, если философские основания физической геометрии и хронометрии представляют собой часть эпистемологической системы, покоящейся на незаконченной бифуркации (раздвоении) природы; во-вторых, если мы отвергаем подобную бифуркацию, то в соответствии с этим мы должны в основание нашего метрического описания пространства и времени природы положить не отношения между материальными телами и событиями, как фундаментальными сущностями, а элементарные суждения о метрических отношениях, основанные на чувственных восприятиях, и, в-третьих, перцептуальное время и пространство обнаруживают внутренне присущую им метрику. В частности, Риман, сочувственно относившийся к идее бифуркации природы, пришел к заключению, что именно значение пространственной (или временной) конгруэнтности зависит от стандарта, который не может иметь никаких претензий на то, что он является единственным. С точки зрения его бифуркационистского подхода, стандарт конгруэнтности должен «приходить откуда-то еще» и конгруэнтность, определенная таким образом, может иметь превосходство перед иными конгруэнтностями только на основании конвенции, ибо последние с математической точки зрения имеют точно такое же оправдание. Напротив, антибифуркационистская теория природы, отвергающая раздвоение, основывается на непосредственных данных чувственного знания, которые обеспечивают и подтверждают уникальное множество физически реализуемых отношений конгруэнтности как для пространства, так и для времени (в пределах точности, характеризующих чувственные восприятия). Таким образом, принимая во внимание данные чувственных восприятий, мы можем провозгласить, что только обычный критерий конгруэнтности пространства и времени является интеллигибельным, несмотря на математически обоснованные

¹ A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, Cambridge: Cambridge University Press, 1926, pp. 121—124.

утверждения о «бесконечном множестве» других взаимоисключающих конгруэнтностей¹.

В целях ясности следует прежде всего изложить суть некоторых аргументов, приводимых Уайтхедом в защиту своих утверждений. После краткого рассмотрения его полемики мы подробно рассмотрим каждый из этих аргументов.

Следует заметить, что, согласно Уайтхеду, тезис о возможности введения различных метрик является абсурдным по двум причинам. Во-первых, конвенционалистская концепция определяет временную конгруэнтность, исходя из требования, что законы Ньютона (с малой поправкой на релятивистское движение перигелия) являются истинными. Но «равномерность изменения воспринимается непосредственно»², и «измерение времени было известно всем цивилизованным нациям задолго до того, как стали известны законы [Ньютона]. Законы, связаны именно с временем, измеренным таким образом... Задача науки дать рациональную оценку тому, что является очевидным на чувственном уровне»³. Во-вторых, подобно тому как к объективным данным опыта относится то, что два наблюдаемых цветковых пятна имеют один и тот же цвет, то есть «конгруэнтны в цветовом отношении» в пределах точности наблюдений, точно так же мы *видим* и то, что данный стержень имеет одну и ту же длину в различных положениях, доказывая этим, что пространственная конгруэнтность, или *соответствие*, является таким же объективным отношением, как и феноменологическая «конгруэнтность» цветов⁴. Следовательно, «фактом природы является то, что расстояние в тридцать миль каждый сочтет слишком большим для прогулки. Это не есть результат соглашения»⁵. И это «не тонкий совет»⁶ антибифуркационной теории природы, которая просто отодвигает трудности, преследующие бифуркационистские версии геометрии и физики XIX века и состоящие в том, что мы сталкиваемся с «полным крахом положения об уникальном характере конгруэнт-

¹ A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, p. 124.

² *Ibid.*, p. 137.

³ *Ibid.*, p. 140.

⁴ A. N. Whitehead, *The Principles of Natural Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, 1955, p. 56.

⁵ Цит. по кн.: R. M. Palter, *Whitehead's Philosophy of Science*, Chicago: University of Chicago Press, 1960, p. 93.

⁶ A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, p. 124.

ности пространства [вследствие возможности введения различных метрик] и в то же время с наличием ее для времени», потому что «время само по себе, согласно классической теории, не дает нам вообще никакого определяющего класса [то есть конгруэнтности]»¹. Кроме того, в противоположность «современной доктрине, согласно которой «конгруэнтность» означает возможность совпадения», верное решение вопроса состоит в том, что «хотя совпадение используется в качестве проверки конгруэнтности, оно не выражает значения конгруэнтности»². Кроме того, «непосредственные суждения о конгруэнтности предполагают измерение, а процесс измерения есть только процедура распространения признания конгруэнтности на случаи, где эти непосредственные суждения невозможны. Таким образом, с помощью измерения мы не можем определить конгруэнтность»³.

Переходя к подробному рассмотрению аргументации Уайтхеда, мы укажем, что он следующим образом предлагает обратить внимание на «фактор в природе, который порождает преимущество одного [пространственного] отношения конгруэнтности над бесконечным множеством других таких отношений»⁴.

Основание для такого вывода состоит в том, что природа в любой момент времени отнюдь не заключена в пространстве. Пространство и время теперь взаимосвязаны; и этот особый фактор времени, который так выделяется среди данных нашего чувственного познания, сам связан с некоторым частным отношением конгруэнтности в пространстве...⁵ Конгруэнтность зависит от движения, и тем самым устанавливается связь между пространственной и временной конгруэнтностью⁶.

Как видно, убедительность аргумента Уайтхеда зависит от его способности доказать, что в физике *временная* конгруэнтность не может рассматриваться в качестве конвенциональной, как это полагали Риман и Пуанкаре. Он считает, что ему удалось обосновать это решающее утверждение с помощью следующей схемы рассуждений, где он именует

¹ A. N. Whitehead, *The Principle of Relativity*, Cambridge: Cambridge University Press, 1922, p. 49.

² A. N. Whitehead, *Process and Reality*, New York: The Macmillan Co., 1929, p. 501.

³ A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, p. 121.

⁴ *Ibid.*, p. 124.

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*, p. 126.

конвенционалистскую концепцию «преобладающей точкой зрения», а противоположный подход — «новой теорией».

Новая теория обеспечивает определение конгруэнтности временных интервалов. Преобладающий подход такого определения не дает. С его точки зрения, если мы принимаем такое измерение времени, что обычные скорости, которые, как нам кажется, должны быть постоянными, будут постоянными на самом деле, тогда законы движения являются истинными. Итак, прежде всего никакое изменение не могло бы рассматриваться ни как постоянное (uniform), ни как непостоянное (non-uniform), если не подразумевается определенная детерминация конгруэнтности временных периодов. Так, при ссылках на обычные явления допускают, что в природе существует некоторый фактор, который мы можем мысленно представить как теорию конгруэнтности. Однако в пользу подобных представлений ничто не говорит, за исключением того, что в таком случае законы движения являются истинными. Предположим вместе с некоторыми комментаторами, что мы взяли в качестве эталона обычных скоростей вращение Земли. В таком случае мы вынуждены допустить, что временная конгруэнтность имеет только одно значение, а именно она есть предположение об истинности законов движения. Такое утверждение исторически ложно. Король Альфред Великий не знал законов движения, но знал очень хорошо, что он подразумевал под измерением времени, и достигал своих целей с помощью зажженных свечей. Также никто в прошлом не обосновывал использование песка в песочных часах для измерения времени, утверждая, что несколько столетий спустя будут открыты соответствующие законы движения, которые придадут смысл утверждению, что песок высыпается из сосуда за равные промежутки времени. Постоянство изменения воспринимается непосредственно, и отсюда следует, что человек воспринимает в природе факторы, из которых может быть выведена теория конгруэнтности. Преобладающая теория в сущности не в состоянии найти такие факторы...¹ По ортодоксальной теории позиция уравнений движения весьма двусмысленна. Пространство, к которому они относятся, совершенно не определяется; точно так же обстоит дело и с измерением промежутков времени. Наука есть просто попытка выудить некоторую процедуру, которую можно было бы назвать измерением пространства, и некоторую процедуру, которую можно было бы назвать измерением времени, и нечто такое, что можно было бы назвать системой сил, и нечто такое, что можно было бы назвать массой, так, чтобы все эти рецепты были бы удовлетворительными. Согласно этой теории, единственной причиной, почему кто-то стремится найти соответствие этим рецептам, является сентиментальное уважение к Галилею, Ньютону, Эйлеру и Лагранжу. Теория, столь далекая от стремления обосновать науку на прочном наблюдательном фундаменте, подчиняет все только математическому преимуществу наиболее простой формулы.

Я никогда не верил в то, что это правильная оценка реального статуса законов движения. Эти уравнения нуждаются в незначительном согласовании с новыми формулами теории относительности.

¹ A. N. Whitehead, The Concept of Nature, p. 137.

Но законы, в которые вносятся эти поправки, обычно незаметные, имеют дело с фундаментальными физическими величинами, которые мы хорошо знаем и которые стремимся уточнить.

Измерение времени было известно всем цивилизованным народам задолго до того, как стали известны законы движения. Законы связаны именно с временем, измеренным таким образом. Так же они связаны и с пространством нашей обычной жизни. Когда мы подходим к точности измерения, выходящей за пределы точности наблюдения, поправки допустимы. Но в пределах точности наблюдения мы знаем, что мы имеем в виду, когда говорим об измерении пространства и времени и о постоянстве изменения. Задача науки — дать рациональное объяснение тому, что является очевидным на чувственном уровне. Мне кажется совершенно невероятным, чтобы истиной, за пределами которой не существовало более глубокого объяснения, было то, что человечество фактически руководствовалось неосознанным желанием доказать справедливость математических формул, которые мы называем Законами Движения, формул, совершенно неизвестных до XVII столетия нашей эры¹.

Прокомментировав тот факт, что чисто математически бесконечное множество несовместимых классов пространственной конгруэнтности удовлетворяет аксиомам конгруэнтности, Уайтхед говорит:

Этот крах уникального характера конгруэнтности пространства и сохранение конгруэнтности времени следует сопоставить с тем фактом, что человечество действительно согласно с такими системами конгруэнтности для пространства и времени, которые основываются на прямой очевидности его чувственных данных. Мы спросим, на чем основывается эта трогательная вера в измерение ярдами и часами? Истина заключается в том, что мы наблюдаем нечто такое, чего классическая теория не объясняет.

Важно четко определить, в чем состоит трудность. Ее часто ошибочно связывают с неточностью всех измерений, касающихся весьма малых величин. Согласно нашим методам наблюдений, мы можем быть точными, когда имеем дело с сотней тысяч или миллионом дюймов. Но всегда имеется граница, перейдя которую мы не можем проводить измерение. Однако неточность подобного типа не является той трудностью, о которой идет речь.

Предположим, что наши измерения могут быть идеально точными; рассмотрим случай, когда один человек использует один ограничивающий [то есть конгруэнтный] класс γ , а другой использует другой класс δ , и если они оба принимают стандартный ярд, находящийся в палате мер и весов... в качестве единицы измерения, они будут расходиться в отношении того, какие другие расстояния должны [в других местах] считаться равными этому стандартному ярду. Не нужно думать, что разногласия между ними имеют второстепенное значение...²

Когда мы говорим, что две протяженности равны, то что мы под этим понимаем? К тому же мы должны включить время. Что

¹ A. N. Whitehead, The Concept of Nature, pp. 139—140.

² A. N. Whitehead, The Principle of Relativity, pp. 49—50.

означает, когда мы приравниваем два промежутка времени по длительности? Мы видим, что измерение предполагает соответствие, так что бесполезно надеяться на объяснение соответствия измерением...¹

Поэтому наше физическое пространство должно уже иметь структуру, и соответствие должно иметь место в отношении к некоторому ограничивающему классу свойств, внутренне присущих этой структуре².

...Существует класс свойств γ , одно и только одно из которых приписывается любой протяженности на прямой линии или точке, причем таким образом, что соответствие в отношении этого свойства и есть то, что мы понимаем под конгруэнтностью.

Тезис, который я выдвигаю, состоит в том, что измерение предполагает восприятие соответствия в свойстве. Именно поэтому при рассмотрении значения любого частного вида измерения мы должны прежде всего спросить, каково то свойство, которое нужно сопоставить?³

...Ярд как мера есть только способ сделать очевидной пространственную конгруэнтность [протяженных] событий, в которых она заключается⁴.

Посмотрим сначала, могут ли исторические соображения Уайтхеда относительно того, что человечество имело представление о временной метрике еще до формулирования законов Ньютона в XVII веке, служить опровержением утверждений Пуанкаре⁵ о том, что 1) временная конгруэнтность в физике конвенциональна, 2) определение временной конгруэнтности, используемое в уточненной физической теории, задается законами Ньютона и 3) мы не располагаем непосредственно интуицией временной конгруэнтности несмежных временных интервалов; уверенность в существовании такой интуиции покоится на иллюзии.

Чтобы убедиться в том, сколь несостоятелен исторический аргумент Уайтхеда, рассмотрим сначала гипотетическую пространственную аналогию его рассуждения. Мы покажем в главе третьей, раздел Б, что хотя требование истинности законов Ньютона определяет единственным образом временную конгруэнтность в одномерном временном континууме, в отношении пространства дело обстоит несколько иначе: требование, чтобы плоскость была евклидовой, не дает уникального определения пространственной

¹ A. N. Whitehead, *The Principle of Relativity*, pp. 50—51.

² *Ibid.*, p. 51.

³ *Ibid.*, p. 57.

⁴ *Ibid.*, p. 58.

⁵ H. Poincaré, *La Mesure du Temps*, «*Revue de Métaphysique et de Morale*», Vol. VI (1898), pp. 1—13.

конгруэнтности для двумерного пространства, то есть существует бесконечное множество несовместимых конгруэнтностей, результирующих в евклидовой геометрии на плоскости. Для построения гипотетической пространственной аналогии с историческим аргументом Уайтхеда допустим, что вопреки фактам имеет место случай, когда требование евклидовости плоскости уникальным образом характеризует обычное определение жесткости. Философ, положим, может сказать, что последнее определение пространственной конгруэнтности подобно всем другим конвенционально. Будет ли тогда убедительным следующий вариант предполагаемого утверждения Уайтхеда: «Не использовали ли люди в качестве жестких стержней свои конечности, а также другие предметы для установления пространственного равенства еще до придания Гильбертом строгости евклидовой геометрии и даже до упорядочения Евклидом пространственных отношений между телами нашего окружения?» Если пренебречь требованиями в настоящее время уточнениями, связанными с различными субстанциональными искажениями, то ясно, что при предполагаемых гипотетических условиях мы сталкиваемся с логически независимыми определениями пространственного равенства, выражающимися в одном и том же конгруэнтном классе интервалов¹. Гипотетическое согласие этих определений было бы поразительным эмпирическим фактом, но если бы его можно было получить, то с его помощью нельзя было бы опровергнуть утверждение, что данная конгруэнтность, определенная подобно всем другим, является конвенциональной.

Аналогичное рассуждение опровергает исторический аргумент Уайтхеда в отношении времени. После учета определенных субстанциональных особенностей допустим, что его неявное предположение о соответствии временных конгруэнтностей, определенных посредством различного рода «часовых» механизмов, является справедливым, так что мы можем не принимать в расчет гипотезы, подобные гипотезе Милна, которая утверждает несовместимость конгруэнтностей, определенных атомными и астрономическими часами. Каковы же эти часы Уайтхеда, имеющие «истинную» временную метрику независимо от законов Ньютона? Свечи,

¹ В главе четвертой мы увидим, в каком смысле критерий жесткости, связанный с твердым телом, может рассматриваться как логически независимый от евклидовой геометрии.

сделанные из одинакового материала, имеющие одинаковые размеры и фитили, сгорают довольно точно на одинаковое число дюймов. Еще в царствование короля Альфреда (872—900 гг. н. э.) зажженные свечи использовались в качестве грубых часов посредством нанесения на них меток или рисок на таком расстоянии друг от друга, что каждый час выгорало определенное их число¹. Отвлекаясь от относительно малых вариаций скорости истечения водяного столба в сосуде, можно напомнить, что водяные часы, или клепсидры, как и песочные часы, служили древним китайцам, византийцам, грекам и римлянам² для определения (довольно приближенного) времени, подобно горящим свечам. С другой стороны, маятник, в сущности свободный от трения, качающийся с определенной амплитудой в точке на данной широте Земли, определяет ту же самую временную метрику, как это делают «природные часы», то есть квазизамкнутые периодические системы³. При отвлечении от деталей подобная ситуация имеет место и для случая вращения Земли, и для колебаний кристалла, и для последовательного движения света туда-обратно на фиксированном расстоянии в инерциальной системе и для методов измерения времени, основанных на естественных периодах колеблющихся атомов или, говоря иначе, для «атомных часов»⁴.

Таким образом, если гипотеза, подобная гипотезе Милна, не считается верной, мы обнаруживаем строгое соответствие между временной конгруэнтностью, определенной посредством уточненных законов Ньютона, и временным равенством, задаваемым некоторыми видами определений, логически независимых от ньютоновой конгруэнтности. Это предпола-

¹ W. I. Milham, *Time and Timekeepers*, New York: The Macmillan Co., 1929, pp. 53—54. Более позднее издание появилось в 1941 году.

² D. J. Price, *The Prehistory of the Clock*, «Discovery», Vol. XVII (1956), pp. 153—157.

³ C. Brouter, *The Accurate Measurement of Time*, «Physics Today», Vol. IV (1951), pp. 7—15.

⁴ F. A. B. Ward, *Time Measurement*, 4th edition, London: Royal Stationery Office, 1958, Part I, Historical Review; P. H. O. D., *How Time is Measured*, London: Oxford University Press, 1955; J. J. V. A. R. u. c. h., *Horological Accuracy: Its Limits and Implications*, «American Scientist», Vol. XLVI (1958), pp. 188A—196A; H. L. Y. o. n. s., *Atomic Clocks*, «Scientific American», Vol. CXCVI (1957), pp. 71—82.

гаемое соответствие является следствием предполагаемого эмпирического факта, для которого общая теория относительности стремится дать объяснение в своей концепции метрического поля точно так же, как пытались объяснить подобное соответствие совпадениями различного рода жестких стержней¹. Конечно, никто не будет отрицать, что некоторые из определений временной конгруэнтности, приводящие к той же самой временной метрике, что и (уточненные) законы Ньютона, с успехом использовались человеком до того, как на эти законы стали ссылаться, чтобы дать такое определение. Более того, можно легко показать, что именно потому, что время можно было измерять с помощью того или иного из этих доньютоновых способов, оказалось возможным само открытие и формулирование законов Ньютона. Однако какое отношение к стоящей перед нами проблеме имеет этот генетический подход и (предполагаемый) факт, что один и тот же класс конгруэнтности временных интервалов одинаково представлен каждым из вышеупомянутых логически независимых определений? Совершенно ясно, что они не могут служить основой для опровержения тезиса о конвенциональном, в смысле Римана — Пуанкаре, характере равенства временных интервалов, относящихся к одному классу конгруэнтности. Мы уже говорили о том, что это особое равенство конвенционально именно в силу того, что оно определяется большим числом физических процессов, помимо законов Ньютона, точно так же как оно было бы конвенциональным, если бы определялось только одним из этих процессов или только законами Ньютона.

Можно ли опровергнуть это заключение, если сослаться на то, что такое соответствие существует при определенных условиях между метрикой психологического времени и обсуждаемой физической конгруэнтностью времени? Мы сейчас увидим, что ответ на этот вопрос, несомненно, будет отрицательным.

Подробное рассмотрение источника такого соответствия, существующего между психологической и физической метриками времени, будет способствовать осуществлению нашей попытки определить, подтверждают ли метрические проявления психологического времени точку зрения Уайт-

¹ A. d'A b r o, The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein, pp. 78—79.

хеда относительно метрики, внутренне присущей физическому времени¹.

Хорошо известно, что при наличии сильных эмоциональных факторов, таких, как тревога, веселость, скука, психологическая метрика времени обнаруживает большую изменчивость по сравнению с ньютоновой метрикой времени в физике. Однако имеется множество доказательств того, что когда такие факторы отсутствуют, физиологические процессы, связанные с периодическими движениями, определяющими физическую временную конгруэнтность, привносят метрику в психологическое время человека и их следствием является ритмическое поведение огромного большинства видов животных. В настоящий момент существуют две главные теории относительно источников такого соответствия, которое имеет место между метриками физического и психологического времени. Более старая из них была создана Пфеффером, и, согласно этой теории, человек и животные снабжены внутренними биологическими часами, правильный ход которых не зависит от осознанного или неосознанного восприятия чувственных сигналов извне².

¹ Следует отметить, что Уайтхед не обосновывает свое утверждение о наличии метрики, внутренне присущей времени, исходя из своего тезиса об атомистичности становления. Поэтому мы можем здесь не рассматривать следующие его утверждения: во-первых, становление, или переходящее «теперь», есть свойство физического времени, и, во-вторых, существует не непрерывность становления, а только становление непрерывности («Process and Reality», p. 53). Читателя можно отослать к главе десятой, где мы показываем, что неуместно приписывать становление физическому времени (в отличие от психологического), а также к нашей критике (см.: A. Grünbaum, *Relativity and the Atomicity of Becoming*, «The Review of Metaphysics», Vol. IV [1950], pp. 143—186), попытки Уайтхеда доказать, опираясь на апорию Зенона Элейского «Дихотомия», что временные интервалы представляют собой только потенциальный, но не актуальный континуум. С более общей точки зрения читателю полезно будет ознакомиться и с возражениями Нортропа против нападок Уайтхеда на бифуркацию (см.: F. S. C. Northrop, *Whitehead's Philosophy of Science*, в: P. A. Schilpp [ed.], *The Philosophy of Alfred North Whitehead*, New York: Tudor Publishing Co., 1941, pp. 165—207).

² W. Pfeffer, *Untersuchungen über die Entstehung der Schlafbewegungen der Blattorgane*, «Abhandlungen der sächsischen Akademie der Wissenschaften, Leipzig, Mathematisch-Physikalische Klasse», Vol. III (1907), S. 257; *ibid.*, Vol. XXXIV (1915), S. 3; C. P. Richter, *Biological Clocks in Medicine and Psychiatry: Shock-Phase Hypothesis*, «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. XLVI (1960), pp. 1506—1530.

Напротив, она полагает, что правильный ход биологических часов зависит только от наличия метаболических процессов, скорость протекания которых *по метрике физического времени постоянна*¹. В применении к людям эта гипотеза была подтверждена следующим экспериментом. Испытуемых просили нажимать на выключатель с наибольшей возможной для них частотой. В относительно небольшом диапазоне температуры тела было установлено, что подсчитанный температурный коэффициент был почти тем же, что и коэффициент, характеризующий химические реакции; двух- или трехразовое увеличение в скорости соответствует увеличению на 10° С в температуре. Защитники концепции, согласно которой биологические часы являются чисто внутренними, приводят и дальнейшие доказательства, ссылаясь на наблюдения за поведением пчел: как на открытом воздухе на поверхности Земли, так и на дне шахты пчелы научились в точно определенное время прилетать к столу, на котором устанавливалась тарелка с сиропом. Поскольку установлено, что пчелы испытывают потребность в сахаре в течение всего дня, некоторые исследователи считают, что ни предположение о периодическом возникновении у пчел чувства голода, ни движение Солнца, ни периодичность интенсивности космических лучей не могут объяснить успешное определение пчелами времени. Однако при добавлении экстракта щитовидной железы и хинина, воздействующих на скорость протекания химических реакций в теле, было отмечено их влияние на способность корректировать время².

Сравнительно недавно возникло сомнение в адекватности гипотезы о чисто внутренних часах. Серия экспериментов

¹ C. B. Goodhard, Biological Time, «Discovery» (December 1957), pp. 519—521; H. Hoagland, The Physiological Control of Judgments of Duration: Evidence for a Chemical Clock, «The Journal of General Psychology», Vol. IX (1933), pp. 267—287; «Chemical Pacemakers and Physiological Rhythms», в: J. Alexander (ed.), Colloid Chemistry, New York: Reinhold Publishing Corp., 1944, pp. 762—785.

² C. S. Pittendrigh and V. G. Bruce, An Oscillator Model for Biological Clocks, в: D. Rudnick (ed.), Rhythmic and Synthetic Processes in Growth, Princeton: Princeton University Press, 1957, pp. 75—109; C. S. Pittendrigh and V. G. Bruce, Daily Rhythms as Coupled Oscillator Systems and their Relation to Thermoperiodism and Photoperiodism, «Photoperiodism and Related Phenomena in Plants and Animals», Washington, D.C.: The American Association for the Advancement of Science, 1959.

с меняющимися крабами и другими холоднокровными животными¹ показала, что эти организмы довольно точно придерживаются 24-часового цикла окрашивания (ритм освещения — затемнения) безотносительно к тому, равна ли температура, при которой они содержатся, 26, 16 или 6° С, хотя при температуре, близкой к нулевой, время окраски изменяется. На этом основании пришли к выводу, что если ритмический во времени механизм действительно является биохимическим, находящимся целиком внутри организма, то надо ожидать ускорения ритма с повышением температуры и замедления ритма с ее понижением. Сторонники этой интерпретации утверждают, что, поскольку периодический ритм у крабов оставался равным 25 часам в широком диапазоне температур, животные должны обладать средством, измеряющим время вне зависимости от температуры. Они утверждают, что это представляет собой «феномен, совершенно непонятный с точки зрения известных в настоящее время механизмов физиологических процессов, учитывая, что период является достаточно большим даже с точки зрения кинетики химических реакций»². Удивительная невосприимчивость некоторых ритмов животных и растений ко многим сильным наркотикам и ядам, которые, как известно, замедляют жизненные процессы, рассматривается как дополнительный аргумент в пользу точки зрения, согласно которой организмы имеют ежедневный, лунный и годовой ритмы, возбуждаемые в них внешними физическими факторами, и, следовательно, им доступна внешняя информация относительно соответствующих периодических физических явлений³. Авторы этой теории допускают, однако, что изученные ритмы животных, ежедневные и лунные, связанные с приливами, не зависят ни от каких известных в настоящее время внешних сигналов, обусловленных астрономиче-

¹ F. A. Brown, *Biological Clocks and the Fiddler Crab*, «Scientific American», Vol. CXC (1954), pp. 34—37; «The Rhythmic Nature of Animals and Plants», «American Scientist», Vol. XLVII (1959), pp. 147—168; «Living Clocks», «Science», Vol. CXXX (1959), pp. 1535—1544; «Response to Pervasive Geophysical Factors and the Biological Clock Problem», «Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology», Vol. XXV (1960), pp. 57—71.

² F. A. Brown, *The Rhythmic Nature of Animals and Plants*, p. 159.

³ F. A. Brown, *Living Clocks*; его же: «Response to Pervasive Geophysical Factors and the Biological Clock Problem».

скими и геофизическими циклами¹. При этом постулируется², что подобные физические сигналы воспринимаются потому, что живые существа способны реагировать на дополнительные стимулы такой малой энергии, что заранее полагается, будто бы она не имеет отношения к поведению животных. Предположение о такой чувствительности живых существ поддерживает надежду на объяснение навигационных способностей животных.

Мы подробно остановились на двух распространенных конкурирующих теориях в отношении источника способности человека (и животных) давать интроспективно правильные оценки длительности. Мы это сделали для того, чтобы показать, что в любой теории метрика психологического времени причинно связана с метриками физических циклов, которыми пользуются в физике при определении временной конгруэнтности. Следовательно, когда мы высказываем суждение о том, что два интервала физического времени, равные, согласно метрике стандартных часов, *кажутся* равными также и в психометрии, это подтверждает только следующее тривиальное заключение о физическом времени: два рассматриваемых интервала конгруэнтны на основе физического критерия, который приводит как генетически, так и эпистемологически к психометрическому стандарту временного равенства. Как же тогда установление метрики психологического времени может доказать, что физическое время обладает внутренней метрикой, если подобное заключение не может быть сделано даже на основе циклов физических часов?

Что касается *пространственной* конгруэнтности, то мы должны рассмотреть аргумент Уайтхеда на основе сопоставления вышеприведенных высказываний со следующим его утверждением³: как наличие одного и того же цвета у двух феноменологических цветочных пятен, то есть их «конгруэнтность в цветовом отношении», представляет собой объективный результат опыта, точно так же данный стержень имеет ту же самую длину в различных положениях, и, таким образом, эта конгруэнтность, как и первая,

¹ F. A. Brown, *The Rhythmic Nature of Animals and Plants*, pp. 153, 166.

² *Ibid.*, p. 168.

³ A. N. Whitehead, *The Principles of Natural Knowledge*, p. 56.

является объективным отношением. Он говорит: «Сразу очевидно, что все эти проверки [конгруэнтности посредством стального ярда и т. д.] зависят от непосредственной интуиции постоянства»¹. Я полагаю, что Уайтхед имеет здесь в виду следующее. Из приведенной диаграммы, например, видно, что горизонтальный отрезок AC не является конгруэнтным вертикальному отрезку AB . Основания, на которых он делает это утверждение, состоят в том, что наша визуальная интуиция ясно показывает, что AC короче AB и AB конгруэнтен AD ; этот факт подтверждается также тем, что твердый стержень, совпадающий с AB и затем повернутый в горизонтальное положение, превышает AC и совпадает с AD .

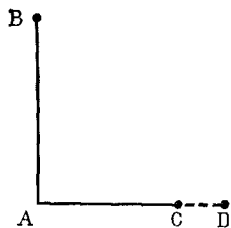


Рис. 1.

В отношении этого нашего первого замечания следует задать вопрос: каково значение этих наблюдений для статуса метрики *физического* пространства, как отличного от *визуального*? Мы отвечаем, что их значение в существенно совместно с конвенциональным взглядом на физическую конгруэнтность. Критерий для зрительной конгруэнтности в сфере наших визуальных наблюдений как генетически, так и эпистемологически обеспечивается, по-видимому, посредством зрительной адаптации к поведению подвижных твердых тел. Ибо, когда затрудняются ответить на вопрос, что же именно у двух *кажущихся* нам конгруэнтными физических интервалов дает возможность доказать отношение их пространственного равенства, наш ответ, несомненно, должен быть таким: тот факт, что они способны последовательно совпадать с перемещаемым жестким стержнем. Следовательно, когда мы говорим, что два интервала физического пространства, с которыми последовательно совпадают перемещаемые твердые стержни, *кажутся* конгруэнтными также и при чисто зрительном их сравнении, то это доказывает только то, что для *физического пространства* конгруэнтность этих интервалов определяется таким критерием, который обеспечивает генетическую и эпистемологическую основу зрительной конгруэнтности и является прежде всего критерием, обеспечиваемым твердым стержнем. Однако визуальное заключение о конгруэнт-

¹ A. N. Whitehead, *Process and Reality*, p. 501.

ности не представляет собой зрительной проверки «истинной» жесткости стержней при их перемещении в том смысле, что устанавливается существование конгруэнтности, определяемой с помощью этого класса тел на основе внутренней метрики. Таким образом, это *факт*, что на приведенной диаграмме AD превышает AC . Следует напомнить, что, с точки зрения Римана, статус измерения в пространственном континууме требует, чтобы всякое определение «конгруэнтности» согласовывалось с подобными рода фактами. Как же тогда визуальные данные могут запретить нам поставить условием, что AC конгруэнтен AB , и затем допустить де-факто совпадение поворачиваемого стержня с AB и AD , приписывая стержню в горизонтальном положении длину, соответственно *большую* длины в вертикальном положении?

Что касается его аргументации относительно пространственного соответствия и его отношения к совпадению и измерению, то важная проблема, поставленная Уайтхедом, состоит вовсе не в том, адекватна ли операциональная оценка конгруэнтности. Напротив, она состоит в том, выводится ли пространственная конгруэнтность из внутренних свойств интервалов или же из их отношения к какому-либо перемещаемому стандарту. Поскольку, как мы отметили ранее, конвенциональная концепция конгруэнтности, которую он подвергает критике, здесь не требуется и не воспроизводится адекватно операциональным утверждением, «значение» «конгруэнтности» задается некоторой операцией, обеспечивающей совпадение при перемещении. Подобно тому, как конвенциональный подход Эйнштейна к одновременности полностью подтверждается только онтологией временной связности, постулированной им, а не операционально¹, конвенциональная концепция конгруэнтности получает свои философские рекомендации, как заметил Риман, из предполагаемой непрерывности пространства (и времени). Таким образом, вопрос, который снова стоит перед нами, касается того, является ли уникальность конгруэнтности внутренне присущей пространству (и времени), какими бы ни были операции или условия проверки, посредством которых это можно было бы определить. Следовательно, мы опять игнорируем здесь соображения относительно того, что (с точки зрения конвенционализма, равно как и с точки зрения Уайтхеда) конгруэнтность есть открытое групповое

¹ См. главу двенадцатую.

(open-cluster) понятие в том смысле, что никакой критерий, подобный совпадению с перемещаемым стержнем, не может исчерпывающим образом определить ее полное актуальное и потенциальное физическое значение. И тогда ответ Уайтхеду будет следующим.

Если бы существовало основание для приписывания пространству внутренней метрики, Уайтхед имел бы право рассматривать совпадение как мерило конгруэнтности *в его (Уайтхеда) смысле*, согласно которому совпадение только устанавливает равенство или соответствие отдельных интервалов относительно *внутренне присущего* им количества пространства, заполняющего каждый из них. Однако, если не установлено наличие внутренней присущей метрики, конгруэнтности, или *соответствие* пространственно разделенных интервалов, *устанавливается* прежде всего их отношением к поведению перемещаемого стандарта, такого, как стержень или время прохождения световым лучом пути туда и обратно в инерциальной системе. И конвенциональный характер самоконгруэнтности последнего стандарта в различных местах ничуть не опровергается тем, что, как правильно подчеркивал Уайтхед, измерение предполагает критерий конгруэнтности, на основе которого и формулируются результаты измерения.

То, что расстояние в тридцать миль для любого пешехода действительно является большим, обусловлено нашими способностями как пешеходов, которые в свою очередь связаны с конгруэнтностью, определяемой стержнями длиной в ярд (или метр), тем самым делая объективным тот факт, что интервал, равный тридцати милям в метрике стержней длиной в ярд, содержит большое число наших шагов. Но каким образом, опираясь на этот факт, можно доказать, что при отсутствии внутренней метрики самоконгруэнтность стандарта при перемещении не является конвенциональной?

Кроме того, Уайтхед совершенно неосновательно и явно ошибочно утверждает, что, согласно классической теории, имеет место «крах» «именно существования» конгруэнтности для времени в противовес тому, что пространство в избытке обладает взаимно исключающими классами конгруэнтности. Ибо он сам же отмечал, что, согласно классической теории, класс конгруэнтности для временного континуума может быть установлен при помощи законов Ньютона (с соответствующими поправками). И бесконечное множество дополнительных *альтернативных* временных конгруэнций может

быть дано метризацией, основанной на значениях временных переменных, которые являются нелинейными взаимно однозначными функциями ньютоновой временной переменной¹. Полтер в своей книге об Уайтхеде солидаризируется с мнением последнего на том основании, что можно дать убедительную интерпретацию даже тем высказываниям Уайтхеда, которые prima facie ложны или вызываяще невразумительны. Исходя из этого, Полтер² стремится защитить положение Уайтхеда, истолковав его следующим образом: время, будучи только одномерным континуумом, представляется нам как не имеющее никакой аналогии с различием в более высокой размерности между евклидовой и неевклидовой геометриями, и, следовательно, время отличается от пространства, обладающего большей размерностью, тем, что оно не имеет структуры, соответствующей типичной метрической геометрии. Однако защита Полтера несостоятельна, поскольку основывается на смешении отсутствия у времени сходства с метрической геометрией с отсутствием у него класса конгруэнтности; отсутствие первого не влечет за собой отсутствия второго, хотя обратное имеет место.

Существенно отметить, однако, что у Уайтхеда имеются положения, где он весьма близок к допущению, что преимущественная роль определенного класса физических объектов в качестве стандартов жесткости и изохронности не равносильна тому, что они делают очевидным внутренне присущее им равенство определенных пространственных и временных интервалов. Так, говоря о пространственно-временном континууме, он пишет:

Этот экстенсивный континуум является одним относительным комплексом, в котором находят свое прибежище все потенциальные воплощения. Он лежит в основании всего мира прошлого, настоящего и будущего. При рассмотрении во всей общности, за исключением дополнительных условий, относящихся только к космической эпохе электронов, протонов, молекул и звездных систем, свойств этого континуума слишком мало и они не включают отношения метрической геометрии³.

Он отмечает далее, что существуют конкурирующие системы измерения, приводящие к альтернативным семействам прямых и соответственно к альтернативным системам

¹ Более детально об этом см. в главе второй.

² R. M. Palter, Whitehead's Philosophy of Science, pp. 90—92.

³ A. N. Whitehead, Process and Reality, p. 103.

метрических геометрий, ни одна из которых не является более фундаментальной по сравнению с другими¹. Именно в нашу современную космическую эпоху электронов, протонов, молекул и звездных систем оказывается, что «получаются более специальные характеристики»² и что «неясность в отношении относительной важности конкурирующих определений конгруэнтности» разрешается в пользу «одного определения конгруэнтности»³. Таким образом, Уайтхед утверждает, что среди конкурирующих определений конгруэнтности «то определение, которое выражает внутреннее содержание доминирующих сущностей, является важным определением для рассматриваемой космической эпохи»⁴. Следовательно, эта важная уступка сильно сближает позицию Уайтхеда с позицией Римана — Пуанкаре, которая защищается в этой книге: вопрос относительно того, какая из имеющихся метрических геометрий является истинной геометрией физического пространства, становится вопросом об объективных физических фактах только после того, как конвенционально дано определение конгруэнтности с помощью обычного твердого тела (или другим образом) при предположении обычной физической интерпретации остальной части геометрического языка.

Этот разрыв между двумя концепциями, сокращенный здесь уступкой Уайтхеда, становится более явным, если, принимая во внимание эту уступку, рассмотреть следующее его положение. Говоря о трактовке Софусом Ли классов конгруэнтности и связанных с ними метрических геометрий в терминах групп точечных преобразований, Уайтхед цитирует Пуанкаре и говорит:

Что касается приведенных выше результатов, связанных с конгруэнтностью и метрической геометрией, рассматриваемых в отношении к существующему пространству, то они вели к той доктрине, которая считает бессмысленным спрашивать, какая система метрической геометрии физического мира является истинной. Любая из этих систем может быть использована, притом бесконечным числом способов. Единственный вопрос, который стоит перед нами, — это вопрос об удобстве в отношении простоты формулировки физических законов. Эта точка зрения, видимо, не учитывает выражения, что наука должна соответствовать определенным образом воспринимающему разуму человека и что (пренебрегая неопределен-

¹ A. N. Whitehead, *Process and Reality*, p. 149.

² *Ibid.*

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*, p. 506.

ностями, порождаемыми устойчивыми небольшими неточностями наблюдения, которые не имеют отношения к этой специальной доктрине) мы фактически представляем в распоряжение наших чувств определенное множество преобразований, образующих группу конгруэнтности, выражающихся в множестве отношений мер, которые ни в коем случае не произвольны. Таким образом, наши законы науки должны быть установлены в соответствии с этой частной группой конгруэнтности. Поэтому установление типа этой специальной группы конгруэнтности — эллиптический, гиперболический или параболический — является совершенно определенной проблемой, подлежащей решению в эксперименте¹.

¹ A. N. Whitehead, *Essays in Science and Philosophy*, New York: The Philosophical Library, 1947, p. 265.

ЗНАЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ МЕТРИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ В НЬЮТОНОВОЙ МЕХАНИКЕ И ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

А. Ньютонова механика

На основании концепции о конвенциональном характере временной конгруэнтности предпочтение, отдаваемое обычной дефиниции изохронности — оно не предполагалось Эйнштейном в общей теории относительности, как мы это увидим в разделе Б, — может быть выведено только из соображений удобства и изящества, пока не установлена окончательная форма теории. Следовательно, тезис о конвенциональном характере изохронности запрещает проводить различие в фактуальном смысле (содержании) или по силе объяснения между двумя описаниями, одно из которых пользуется обычной изохронностью, а другое служит «переводом» (транскрипцией) ее на язык, в котором временная конгруэнтность несовместима с обычной. Для проверки этой *объяснительной равнозначности* предлагается следующая общая схема противоположной аргументации, которую мы можем дать после некоторых предварительных соображений.

Согласно анализу, проведенному Риманом, конгруэнтность во временном континууме ньютоновой динамики следует рассматривать как конвенциональную не менее, чем в теории относительности. Поэтому нам хотелось бы сравнить по способности к объяснению две формы ньютоновой динамики, соответствующие следующим двум видам конгруэнтности во времени.

Первый из них вытекает из требования сохранения ньютоновых законов, которые видоизменяются путем добавления весьма незначительных уточняющих величин, выражающих так называемые релятивистские движения перигелия. Эта конгруэнтность во времени будет именоваться

Ньютоновой, и временная переменная, представляющая ньютоново время, после того как выбрана частная единица измерения, будет обозначаться как t . Второй вид временной конгруэнтности определяется вращательным движением Земли. Для наших целей не имеет значения, связываем ли мы последний вид конгруэнтности с единицей, равной средней солнечной секунде, составляющей $1/86\,400$ среднего интервала между двумя последовательными прохождениями земного меридиана через воображаемое среднее положение Солнца, или с иной единицей, которая задается звездными сутками, представляющими собой интервал между двумя последовательными прохождениями меридианом какой-либо звезды. Здесь имеет значение то, что как средняя солнечная секунда, так и звездные сутки основываются на периодичности вращения Земли. Предположим теперь, что выбрана та или иная из этих единиц, и пусть T будет временной переменной, связанной с такой метризацией, которую мы будем именовать суточным временем. Здесь важно то, что временные переменные t и T соотносятся между собой нелинейным образом и ассоциируются с несовместимыми дефинициями изохронности, поскольку скорость вращения Земли *меняется согласно временной метрике Ньютона* несколькими различными способами¹. Из них хорошо известно относительно небольшое замедление вращения Земли, обусловленное трением между водной поверхностью океана Земли и дном во время приливов и отливов. После вычисления положений Луны, например с помощью обычной теории небесной механики, основанной на ньютоновой временной метрике, наблюдаемые положения Луны на небесном своде обнаруживали бы некоторое *опережение*, по сравнению с расчетными, *если бы отождествили время, определяемое вращением Земли, с ньютоновым временем небесной механики*. То же самое имеет силу и для положений планет солнечной системы и лун Юпитера. В итоге все они соответствуют замедлению вращения Земли.

Рассмотрим теперь следующий аргумент в пользу отсутствия объяснительной равнозначности между двумя формами динамической теории, соответственно связанными с t - и T -шкалой времени: факты *динамики* будут свидетельствовать в пользу t -шкалы, а не в пользу T -шкалы.

¹ G. M. C l e m e n s e, Time and its Measurement, «American Scientist», Vol. XL (1952), pp. 264—267.

Доказано, что следующие два высказывания *кинематически эквивалентны*:

а) вращательное движение Земли замедляется относительно «часов», представленных различными обращающимися планетами солнечной системы и их спутниками;

б) периодическое движение обращающихся небесных тел убыстряется относительно равномерного вращения Земли.

Однако оба эти утверждения неравны по своей объяснительной силе в контексте динамической теории движения в солнечной системе. Ибо если замедление вращения Земли в высказывании (а) *может быть* понято как динамический эффект соседствующих масс (водные приливы и их трение), то никакой подобной динамической причины нельзя найти для ускорений, допускаемых высказыванием (б). И последний факт показывает, что теория, включающая формулировку (а), обладает большей объяснительной силой или большим фактуальным смыслом, чем теория, содержащая (б). Именно в этом духе д'Абро, хотя и подчеркивает, с одной стороны, что, кроме удобства и простоты, нет ничего, что определяло бы выбор между двумя различными метриками¹, с другой стороны, приводит условие *каузального* понимания, даваемое *t*-шкалой, как аргумент в ее пользу и тем самым, видимо, устанавливает такое различие в простоте, которое подразумевает фактуально *неэквивалентные* описания:

Если в механике и астрономии мы выбрали наугад какую-то произвольную дефиницию времени, если мы определили как конгруэнтные интервалы, разделяющие восход и закат Солнца, во все времена года, скажем на широте Нью-Йорка, то наше понимание механических явлений будет сопряжено с серьезными трудностями. Измерение с помощью этих новых временных стандартов покажет, что свободные тела не будут больше двигаться с постоянной скоростью, но станут испытывать периодические ускорения, *которым нельзя будет, очевидно, приписать какую-либо определенную причину*, и так далее. В результате нужно будет отказаться от закона инерции, а вместе с ним, по существу, и от доктрины классической механики вместе с законом Ньютона. Таким образом, изменение в нашем понимании конгруэнтности будет иметь далеко идущие следствия.

Опять же в случае колеблющегося атома, если принимается не-которая произвольная дефиниция времени, следовало бы предположить, что этот самый атом испытывает наиболее непостоянные колебания. *Еще более трудно было бы найти удовлетворительные*

¹ A. d' A b r o, The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein, p. 53.

причины этим видимым случайным флуктуациям по частоте: и простое понимание наиболее фундаментальных оптических явлений было бы почти невозможно¹.

Чтобы проверить этот аргумент, возьмем две формулировки динамики, соответствующие t -шкале и T -шкале, и запишем их в математической форме, с тем чтобы иметь ясное представление об этой проблеме.

Различие между двумя видами временной конгруэнтности, с которыми мы имеем дело, вытекает из того, что функциональное отношение

$$T = f(t),$$

связывающее две шкалы времени, является *нелинейным*, так что временные интервалы, конгруэнтные согласно одной шкале, вообще неконгруэнтны, согласно другой. Очевидно эта функция является монотонно-возрастающей, и, таким образом, мы знаем, что всегда имеет место

$$\frac{dT}{dt} \neq 0.$$

Более того, из нелинейности $T = f(t)$ мы знаем, что dT/dt не является константой. Поскольку функция f имеет обратную функцию, будет возможным перевести любую систему законов, сформулированных на основе одной из этих двух шкал времени, в соответствующую другую шкалу. Чтобы посмотреть, какую форму примет обычный ньютонов закон силы в суточном времени, мы должны выразить ускорение, входящее в этот закон, в терминах суточного времени. Но для того чтобы вывести закон преобразования ускорений, мы сначала должны заняться скоростями. Согласно цепному правилу дифференцирования, мы имеем, используя r для обозначения радиус-вектора,

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{dT} \cdot \frac{dT}{dt}. \quad (1)$$

Предположим, что тело *покоится* в той системе координат, где измеряется r , *при этом используется ньютоново время*; тогда это тело будет также находиться *в состоянии покоя по суточному времени*; поскольку второй член в правой части уравнения (1) не может быть равным нулю, левая часть уравнения (1) обратится в нуль, если и только если

¹ A. d'Abro, The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein, p. 78 (курсив мой.— А. Г.).

равен нулю первый член в правой части уравнения (1). Хотя состояние покоя в данной системе по t -шкале будет соответствовать с таким же успехом состоянию покоя в этой же системе по T -шкале, уравнение (1) показывает, что *постоянство* необращающейся в нуль ньютоновой скорости dr/dt не будет соответствовать постоянной суточной скорости dr/dT , поскольку производная dT/dt изменяется как во времени Ньютона, так и в суточном времени. Далее, дифференцирование уравнения (1) относительно ньютонова времени t приводит к

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{dr}{dT} \frac{d^2T}{dt^2} + \frac{dT}{dt} \frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dT} \right). \quad (2)$$

Но, применяя цепное правило ко второму множителю второго члена в правой части уравнения (2), мы получим

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dr}{dT} \right) = \frac{d^2r}{dT^2} \frac{dT}{dt}. \quad (2a)$$

Таким образом, уравнение (2) принимает следующий вид:

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{dr}{dT} \frac{d^2T}{dt^2} + \frac{d^2r}{dT^2} \left(\frac{dT}{dt} \right)^2. \quad (3)$$

Решая его относительно суточного ускорения и пользуясь уравнением (1), а также вводя сокращения

$$f'(t) \equiv \frac{dT}{dt} \text{ и } f''(t) \equiv \frac{d^2T}{dt^2},$$

мы находим

$$\underbrace{\frac{d^2r}{dT^2}}_{\text{суточное ускорение}} = \frac{1}{[f'(t)]^2} \underbrace{\frac{d^2r}{dt^2}}_{\text{ньютоново ускорение}} - \overbrace{\frac{f''(t)}{[f'(t)]^3} \frac{dr}{dt}}^{\text{вековой член}}. \quad (4)$$

Следует высказать кратко несколько дополнительных замечаний относительно уравнения (4), прежде чем перейти к рассмотрению того, какой свет оно проливает на вид предполагаемого каузального объяснения в рамках суточного описания. Если действие ньютоновой силы на тело *не* равно нулю, поскольку тело ускоряется благодаря воздействию масс, суточное ускорение также не будет равно нулю, за исключением необычного случая, когда

$$\frac{d^2r}{dT^2} = \frac{f''(t)}{f'(t)} \frac{dr}{dt}. \quad (5)$$

Следовательно, причинное влияние масс, приводящее к появлению ньютоновых ускорений в обычном описании, рассматривается в уравнении (4) как вносящее определенный вклад также и в суточное ускорение. Однако новое свойство суточного описания фактов состоит в том, что все тела, не находящиеся в состоянии покоя, обладают *вековым ускорением* даже в том случае, если не существует никаких масс, вызывающих ньютоновы ускорения, так что первый член в правой части уравнения (4) обращается в нуль. И это вековое ускорение численно *не* одинаково для всех тел и зависит от их скоростей dr/dt в данной системе отсчета, а следовательно, и от системы отсчета.

Наличие векового ускорения и его характер нуждаются в некоторых комментариях. Его зависимость от скорости и от системы отсчета не следует рассматривать ни как нечто случайное, ни как какого-либо рода трудность. Что касается зависимости векового ускорения от скорости, рассмотрим числовой пример, который устраняет всякие недоумения: если вместо того, чтобы называть равными два последовательных часа, отсчитываемых Большим Беном, мы вводим новую метрику времени таким образом, что приписываем величину, равную половине часа, второму из этих интервалов, тогда все тела, которые характеризуются равномерной скоростью в обычной временной метрике, удвоят свои скорости после первого интервала, согласно новой шкале, а *численное* возрастание или *ускорение* скоростей первоначально более быстрых тел будет больше, чем возрастание скоростей тех тел, которые первоначально двигались более медленно. Далее, что касается зависимости векового ускорения от системы отсчета в контексте физических фактов, утверждаемых теорией Ньютона *независимо от* ее метрической философии, только предубеждение заставляет требовать, чтобы любая формулировка теории, которую следует рассматривать как приемлемую, должна находиться в согласии с обычной теорией, рассматривая ускорение тела в любой данный момент времени одинаковым во всех галилеевых системах отсчета («галилеева относительность»). Ибо никакой единичный *bona fide* физический факт в ньютоновом мире не отбрасывается и не отвергается кинематикой, которая не обладает этой галилеевой относительностью. Весьма поучительно осознать, что даже в *обычном* истолковании *кинематики специальной теории относительности* постоянное ускорение в системе отсчета S' не будет вообще

соответствовать постоянному ускорению в системе отсчета S , поскольку компоненты ускорений в системе S зависят не только от ускорений в S' , но также и от компонентов скоростей в этой системе, которые могут меняться со временем.

Однако что мы должны сказать, помимо зависимости от скорости и системы отсчета, именно о наличии этого «динамически необъяснимого» или отвергающего причинность *векового ускорения*? Рассматривая этот вопрос, мы начинаем со сравнения, что в *обычной* формулировке механики Ньютона постоянные *ускорения* (speeds) в отличие от постоянных *скоростей* (velocities) распадаются на два класса сообразно тому, динамическим действиям каких возмущающих масс они приписываются: на постоянные *прямолинейные ускорения*, о которых утверждают, что они преобладают при отсутствии какого-либо влияния со стороны масс, и на постоянные *криволинейные* (то есть круговые) *ускорения*, связанные с (центростремительным) ускоряющим действием масс. Далее, что касается наличия векового ускорения в суточном описании, фундаментальное значение имеет здесь учет следующего обстоятельства: если, согласно той версии ньютоновой механики, которая пользуется *обычной метризацией* (времени и пространства), *все* ускорения в каких бы то ни было галилеевых системах отсчета имеют *динамическое* происхождение, будучи обязаны своим появлением действию специфических масс, *то данная особенность теории Ньютона становится возможной не только благодаря фактам, но также и благодаря той частной метризации времени, которая выбрана для того, чтобы закодировать их*. Как показывает уравнение (4), после приравнивания нулю d^2r/dt^2 динамический характер *всех* ускорений не гарантируется какими-либо каузальными фактами мира, с которыми должна согласовываться всякая теория. Так как в суточном описании объективное поведение тел (точек событий и совпадений) выражается в виде функции наличия или отсутствия других тел так же, как это делается и в теории Ньютона, то тем самым достигается полная объяснительная равнозначность с последней во всех логических (в отличие от прагматических!) отношениях.

Поэтому при разработке теории, объясняющей механические явления, обеспечение динамического базиса для всех ускорений не следует рассматривать как *неизбежное эпистемологическое требование*. Следовательно, если игно-

рировать соображения удобства, которые являются решающими в прагматическом отношении, то в таком случае нельзя найти каких-либо веских возражений, с точки зрения объяснительной силы, суточному описанию, где ускорения, будучи суперпозиционными в смысле уравнения (4), распадаются на два класса динамически и кинематически обусловленных величин. И, что еще более важно, поскольку в суточной метрике не существует никакого замедления вращения Земли, то в этом описании не может быть поставлен вопрос об установлении *причины* отсутствия такого замедления; напротив, трение теперь рассматривается как *причина равномерного* суточного вращения Земли и выделения теплоты, которое сопровождает этот вид равномерного движения. Ибо в описании, согласно T -шкале, именно равномерное вращение требует для своего осуществления динамической причины, выражающейся во взаимодействии масс (в процессе трения) с равномерно вращающимся телом, и здесь законом природы или следствием такого закона является то, что все равномерные суточные вращения являются источником диссипации теплоты. Конечно, математическое выражение фрикционного взаимодействия не будет иметь того обычного вида, который характерен для механики Ньютона: чтобы получить суточную оценку фрикционной динамики приливно-отливных движений океана, необходимо применить преобразования типа тех, которые даны нами в уравнении (4), к величинам, входящим в соответствующие данному случаю уравнения Ньютона¹.

Могут спросить, однако, что будет с ньютоновыми принципами сохранения, если будет принята T -шкала времени? Это легко продемонстрировать путем ссылки на простой случай движения свободной частицы. Если ньютонова кинетическая энергия в этом случае будет постоянной, ее формальная суточная гомология (в противоположность ее суточному эквиваленту!) не будет постоянной. Обозначим постоянную ньютонову скорость свободной частицы через v_t , где подстрочный индекс t означает, что используется t -шкала, и пусть u_T обозначает суточную скорость, соответствующую

¹ Относительно этих уравнений см.: Н. Jeffreys, *The Earth* (3rd ed.; Cambridge: Cambridge University Press, 1952), Chap. 8; G. I. Taylor, *Tidal Friction in the Irish Sea*, «Philosophical Transactions of the Royal Society, A.», Vol. CCXX (1920), pp. 1—33.

щую v_t . Поскольку из приведенного выше уравнения (1) нам известно, что

$$v_t = v_T \frac{dT}{dt},$$

где v_t — константа, а dT/dt — нет, мы видим, что суточная гомология $1/2 m v_T^2$ ньютоновой кинетической энергии не может быть в этом случае постоянной, хотя суточный эквивалент $1/2 m (v_T \cdot dT/dt)^2$ постоянной ньютоновой кинетической энергии $1/2 m v_t^2$ является с необходимостью постоянным. Как в случае самих ньютоновых уравнений движения, так и в случае ньютонова принципа сохранения энергии суточный эквивалент или перевод объясняет все те факты, которые объясняет и ньютонов оригинал. Следовательно, наш критик не может получить никакой поддержки из того факта, что формальная суточная гомология ньютонова принципа сохранения вообще не имеет места. Кроме того, инвариантность относительно времени физической величины и, следовательно, соответствие выбора ее из некоторого числа других в качестве формы «энергии» и т. д. будет зависеть не только от фактов, но также и от выбора временной метрики, которая используется для их описания. Поэтому не следует, очевидно, обвинять суточное описание в несостоятельности и требовать, чтобы оно включало несовместимую с ним гомологию принципов сохранения ньютоновой механики: показательный пример представляет собой обвинение в том, что суточное описание нарушает закон сохранения энергии, поскольку в его метрике фрикционное порождение теплоты в случае приливно-отливных движений океана не компенсируется каким-либо сокращением скорости вращения Земли! Допускает ли суточная метризация времени дедуктивное выведение относительно простых принципов сохранения их величин, основанных на суточной метрике, — это скорее математическая проблема, и ее решение не требует обоснования нашего тезиса, согласно которому, кроме прагматических соображений, суточное описание в смысле возможности объяснения равнозначно с ньютоновым описанием.

Мы не обращаем внимания на прагматические соображения при установлении равнозначности в способности объяснения двух описаний, связанных с различными метризациями времени. Однако было бы неверно делать вывод, что в указании на эквивалентность таких описаний

по отношению к их фактуальному содержанию мы становимся на точку зрения, согласно которой не существует никаких критериев для выбора между ними, и, следовательно, нет никаких оснований для того, чтобы отдать предпочтение той или иной из них.

Фактуальная адекватность (истинность) является, конечно, основным *необходимым* условием приемлемости научной теории, однако она едва ли является *достаточным* условием для признания любой из частных ее формулировок, которые удовлетворяют этому необходимому условию. С таким же успехом, скажем, человек, указывающий, что эквивалентные описания могут быть даны и в десятичной (метрической) и в английской системе единиц, не может привести убедительных оснований для предпочтения последней! Конечно, после первого комментария относительно *фактуальной основы* существования ньютоновой временной конгруэнтности мы увидим, что имеются веские *прагматические* основания для предпочтения именно этой метризации временного континуума. И эти основания будут, по существу, совместимы с нашим двойственным утверждением, что возможность введения иной метрики допускает различные эквивалентные в лингвистическом отношении описания и что геохронометрический конвенционализм *не* является субтезисом ТСК.

Фактуальный базис существования ньютоновой метризации времени можно будет понять, если сослаться на следующие два соображения: во-первых, как мы сейчас покажем, крайне счастливым эмпирическим фактом, а не априорной истиной является то, что вообще существует такая метризация времени, в которой *все* ускорения относительно инерциальных систем имеют динамическое происхождение, как утверждает теория Ньютона, и, во-вторых, эмпирическим фактом является также и то, что временная метризация, обладающая данным замечательным свойством («эфмеридное время»), физически обеспечивается годовым обращением Земли вокруг Солнца (а не суточным вращением), хотя и не совсем простым с точки зрения наблюдаемого образом, поскольку следует принимать во внимание нерегулярности, вызываемые гравитационными возмущениями со стороны остальных планет¹. Можно следующим обра-

¹ G. M. C l e m e n c e, *Astronomical Time*, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXIX (1957), pp. 2—8; «Dynamics of the Solar System», ed. by E. C o n d o n and H. O d i s h a w, «Handbook of

зом доказать, что существование временной метризации, в которой все ускорения относительно инерциальных систем имеют *динамическое* происхождение, не может быть гарантировано а priori.

Предположим, что *вопреки действительным фактам существовал* бы случай, когда *свободное* тело испытывало бы ускорение относительно инерциальной системы и его движение описывалось бы в метрике эфемеридного времени t . Таким образом, предполагалось бы, что существуют ускорения, которые в обычной временной метрике *не* имеют динамического происхождения. В частности, пусть мы теперь постулируем, что вопреки действительным фактам свободная частица испытывала бы *одномерное* простое гармоническое колебание, описываемое формулой

$$r = \cos \omega t,$$

где r есть расстояние от начальной точки. При такой гипотетической возможности ускорение *свободной* частицы, согласно t -шкале, имело бы следующее зависящее от времени значение:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\omega^2 \cos \omega t.$$

И наша задача состояла бы в том, чтобы установить, будет ли существовать в таком случае некоторая иная метризация времени $T = f(t)$, обладающая ньютоновыми свойствами, при которой наша *свободная* частица имеет *нулевое* ускорение. Мы сейчас увидим, что ответ будет определенно отрицательным: при гипотетических эмпирических условиях, которые мы постулировали, в самом деле не будет никакой допустимой однозначной временной метризации T вообще, в которой все ускорения относительно некоторой инерциальной системы имели бы динамическое происхождение.

Так пусть теперь T в уравнении (4) данной главы будет рассматриваться как временная переменная, связанная с удовлетворительной метризацией $T = f(t)$, при которой ускорение $d^2 r/dT^2$ нашей свободной частицы было бы равно *нулю*. Напомним, что в этой главе уравнение (5) было

Physics», New York: McGraw-Hill Book Company, 1958, p. 65; «Ephemeris Time», «Astronomical Journal», Vol. LXIV (1959), pp. 113—115, and «Transactions of the International Astronomical Union», Vol. X (1958); «Time and Its Measurement», op. cit.

получено из уравнения (4) приравниванием нулю ускорения по T -шкале d^2r/dT^2 . Следовательно, если наша удовлетворительная метризация вообще существует, она представляла бы собой решение $T = f(t)$ уравнения (5) в его скалярном виде применительно к случаю нашего одномерного движения.

Это уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{f''(t)}{f'(t)} \frac{dr}{dt}. \quad (6)$$

Полагая $v \equiv dr/dt$ и отмечая, что

$$\frac{d}{dt} \log f'(t) = \frac{f''(t)}{f'(t)} \quad \text{и} \quad \frac{d}{dt} \log v = \frac{1}{v} \frac{dv}{dt},$$

получаем уравнение (6) в следующем виде:

$$\frac{d}{dt} \log v = \frac{d}{dt} \log f'(t).$$

Интегрируя и используя $\log c$ в качестве постоянной интегрирования, получаем

$$\log v = \log c f'(t),$$

или

$$v = c f'(t),$$

что означает

$$\frac{dr}{dt} = c \frac{dT}{dt}.$$

Интегрирование приводит к следующему результату:

$$r = cT + d, \quad (7)$$

где d является постоянной интегрирования. Однако, согласно нашему начальному предположению, $r = \cos \omega t$. Следовательно, (7) принимает вид

$$T = \frac{1}{c} \cos \omega t - \frac{d}{c}. \quad (8)$$

Очевидно, что решение $T = f(t)$, которое выражается уравнением (8), не является взаимно однозначной функцией: одно и то же время T в искомой метризации соответствовало бы всем тем различным моментам времени по t -шкале, в которые осциллирующая частица возвращалась бы в одно и то же место $r = \cos \omega t$ в ходе своего периодического движения. И таким образом нарушалось бы основное

топологическое требование, согласно которому функция $T = f(t)$ должна быть взаимно однозначной, T -шкала, обладающая искомым ньютоновским свойством, при наших *гипотетических* эмпирических условиях с физической точки зрения совершенно недопустима, и, следовательно, метризация недействительна.

Отсюда следует, что нет никаких априорных гарантий существования хотя бы одной временной метризации, обладающей ньютоновым свойством, согласно которой ускорение свободной частицы относительно инерциальных систем равно нулю. Однако довольно говорить о *фактуальном базисе* существования ньютоновой временной метризации.

Ввиду того, что использование временной метризации, основанной на годовом обращении Земли, имеет результатом относительно простые законы Ньютона, существуют сильные доводы с точки зрения математической обработки и удобства в пользу большего предпочтения такой временной метризации, при которой *все* ускорения относительно инерциальных систем имеют динамическое происхождение. В самом деле, различные усовершенствования, которые вводятся астрономами в свои физические стандарты временной конгруэнтности, диктуются потребностью в определении временной конгруэнтности (или так называемого «неизменного» стандарта времени), для которого в солнечной системе сохраняли бы свою силу законы Ньютона, включая относительно простые законы сохранения, взаимосвязывающие различные виды явлений (механические, тепловые и т. д.). И таким образом, как удачно это выразили Фейгл и Максвелл, один из наиболее важных критериев описательной простоты, сильно ограничивающий область «приемлемых» соглашений, следует усматривать в тех *возможностях*, которые данное соглашение открывает для математической обработки законов.

Б. Общая теория относительности

В специальной теории относительности используется только *обычная* метризация времени в следующем смысле: в галилеевой системе в любой данной точке A продолжительность временного интервала между двумя событиями выражается *различием* между двумя временными координатами этих двух событий, которое обеспечивается

показаниями стандартных часов в точке A , причем их периоды конгруэнтны по определению. Это, конечно, точная аналогия обычного определения пространственной конгруэнтности, согласно которой стержень называется конгруэнтным самому себе всюду, когда он находится в относительно покое после внесения поправок на специфические субстанциальные пертурбации. С другой стороны, как мы это сейчас увидим, существуют ситуации, при которых *общая* теория относительности использует критерий *временной* конгруэнтности, представляющий собой аналог *необычного* вида пространственной конгруэнтности в следующем смысле: продолжительность временного интервала, разделяющего два события по часам, зависит не только от *различия* между временными координатами, которые предписываются часами этим событиям, но также и от *пространственного* расположения часов (хотя и не от времени самого по себе, в которое начинается и оканчивается этот временной интервал).

Подходящий пример из общей теории относительности касается случая с *вращающимся диском*, где мы применяем те принципы, которые общая теория относительности заимствует из специальной теории относительности. Пусть множество стандартных материальных часов будет расставлено в различных точках такого диска. Учет бесконечно малого замедления часов в специальной теории относительности говорит нам о следующем: часы в *центре* O диска будут иметь скорость хода смежных с ними часов, расположенных в инерциальной системе I , относительно которой диск имеет угловую скорость ω , *однако* этим свойством не обладают часы, расположенные в других точках A диска, находящихся на положительных расстояниях r от центра диска O . Такие A -часы обладают различными линейными скоростями ωr относительно I в силу их общей угловой скорости ω . Соответственно все A -часы (из каких бы материалов они ни были сделаны) будут давать показания, запаздывающие относительно показаний соответствующих часов системы I , смежных с ними, на коэффициент $\sqrt{1 - (r^2\omega^2/c^2)}$, где c — скорость света. Что произошло бы вследствие использования *обычной* временной метризации повсюду на вращающемся диске, если бы при этом допускалось, что длительность (длина) временного интервала, протекающего в данной точке A , выражается *различием* между временными координатами крайних членов этого интервала, которое

вытекает из показаний стандартных часов в точке A ? Использование обычной временной метрики обременило бы нас *более сложным* описанием процесса распространения света во вращающейся системе, которое обладало бы следующими нежелательными свойствами: (i) включение времени в описание природы имело бы только тот смысл, что скорость света в одном направлении зависела бы от времени, поскольку запаздывание *хода* часов в A имело бы результатом изменение в величине времени прохождения в одном направлении световым лучом расстояния между O и A , и (ii) число световых волн, излученных в точке A в течение единицы времени по A -часам, было бы *больше*, чем число волн, достигших центра O за одну единицу времени по часам O ¹. Чтобы избежать нежелательных сложных законов при использовании простого обычного определения временной конгруэнтности, общая теория относительности отвергает последнюю. Вместо нее она принимает следующее более сложное необычное определение конгруэнтности во имя простоты вытекающих из нее законов: в любой точке A на диске длина (длительность) временного интервала определяется не различием между координатами его крайних точек, а произведением этого приращения u коэффициента хода $1/\sqrt{1 - (r^2\omega^2/c^2)}$, который зависит от пространственной координаты r точки A . Этот коэффициент хода позволяет приписывать *большую* длительность временным интервалам, чем та, которая получалась бы при обычной процедуре установления длительности и определялась бы возрастанием показаний часов. Ввиду *зависимости* метрики от *положения в пространстве* r благодаря коэффициенту хода, включаемому в нее, мы сталкиваемся здесь с *необычной метризацией* времени в полном согласии с *временным порядком* событий в A согласно обычной метрике.

Подобная нестандартная метрика времени использовалась Эйнштейном в его статье об общей теории относительности 1911 года², где рассматривалось влияние тяготения на распространение света. Анализ показывает, что усложнения в описании распространения света, с которыми мы сталкиваемся в случае с вращающимся диском, возникают здесь

¹ G. Moller, The Theory of Relativity (Oxford: Oxford University Press, 1952), pp. 225—226.

² А. Эйнштейн, О влиянии силы тяжести на распространение света, § 3, «Собрание научных трудов», т. 1, стр. 170—172.

в такой же мере, если используется стандартная временная метрика. Эти усложнения элиминируются совершенно аналогичным образом с помощью необычной временной метрики. Таким образом, если мы рассматриваем свет, излученный на Солнце и достигающий Земли, и если Φ представляет негативное различие в гравитационном потенциале между Солнцем и Землей, то мы приходим к следующему выводу: до того, как часы переносятся с Земли на Солнце, их ставят так, чтобы они шли *быстрее*, чем смежные с ними земные часы на коэффициент $1/(1 - \Phi/c^2)$ (в первом приближении), где $\Phi/c^2 < 1$ ¹.

¹ Более подробное обсуждение альтернативной временной метрики, используемой на вращающемся диске, см. в: A. G r ü p - b a u m, *Geometry and Chronometry in Philosophical Perspective*, Ch. III, § 2.3, 2.4, and 8.2.

КРИТИКА ФИЛОСОФИИ ГЕОМЕТРИИ РЕЙХЕНБАХА
И КАРНАПА

А. Статус «универсальных сил»

В своей книге «Пространство»¹ Карнап начинает обсуждение *физического* пространства с рассмотрения вопроса о том, могут ли линии этого пространства быть идентифицированы как прямые и каким образом. Исходя из *возможности проверки*, а не из непрерывности этого многообразия, как мы поступали в первой главе, он отвечает на этот вопрос следующим образом: «В принципе это невозможно установить, если ограничивать себя недвусмысленными вердиктами опыта и не вводить свободно выбранных соглашений относительно объектов опыта»². И затем он указывает, что наиболее важным соглашением относительно того, следует ли рассматривать некоторые физические линии как прямые, является установление метрики («*Mass-setzung*»), которая конвенциональна, поскольку ее нельзя «ни подтвердить, ни опровергнуть с помощью опыта». Ее установление имеет такую форму: «Выбирается определенное тело и на нем две фиксированные точки, а затем приходят к соглашению, какую длину следует приписывать интервалу между этими точками при различных условиях (температура, положение, ориентация, давление, электрический заряд и т. д.). Примером выбора метрики является соглашение о том, что две отметки на стандартном метре в Париже определяют интервал в $100 \cdot f$ (T ; φ , λ , h ; ...) см;... (единица должна также быть выбрана, однако

¹ R. Carnap, *Der Raum*, Berlin: Reuther und Reichard, 1922, S. 33.

² *Ibid.*

мы этого здесь не касаемся, так как нас интересует выбор самого тела и функция $f(T, \dots)$ ¹.

Раз выбрана частная функция f , совпадение перемещаемого выбранного тела позволяет установить метрический тензор g_{ik} в соответствии с этим выбором, обеспечивая тем самым класс *конгруэнтных* интервалов и соответствующую геометрию. Тезис Карнапа состоит в том, что вопрос о геометрии физического пространства является, конечно, *эмпирическим*, однако при условии важной оговорки: он становится эмпирическим только *после* физического определения конгруэнтности линейных отрезков, которое устанавливается *конвенциональным путем*, путем определения (в пределах постоянного множителя, зависящего от выбора единицы), какую длину следует приписывать перемещаемому твердому стержню в различных точках пространства.

Подобно Карнапу, Рейхенбах ссылается на возможность проверки² для защиты этой ограниченно эмпирической концепции геометрии и говорит об «относительности геометрии»³, подчеркивая тем самым зависимость геометрии от определения конгруэнтности. Карнап выражает идею конвенциональности, ссылаясь на нашу свободу выбора в метрике функции f . Однако Рейхенбах формулирует эту концепцию в *метафорических* терминах, ссылаясь на «универсальные силы»⁴, относительно метрического «воздействия» которых на измерительные стержни затем утверждается, что оно является делом конвенции в следующем смысле: обычная дефиниция конгруэнтности, согласно которой длина стержня должна повсюду сохранять одинаковую величину (*после* принятия в расчет специфических субстанциальных термических эффектов и им подобных), соответствует приравнению нулю универсальных сил; с другой стороны, необычное определение конгруэнтности, согласно которому длина стержня меняется с изменением положения или ориентации (даже *после* принятия в расчет термических эффектов и т. д.), соответствует допущению специфической не обращающейся в нуль универсальной силы, математическая характеристика которой будет дана ниже. Рейхенбах не предвидел, что эта метафорическая окраска его формули-

¹ R. Carnap, *Der Raum*, S. 33—34.

² H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, p. 16.

³ *Ibid.*, Sec. 8.

⁴ *Ibid.*, Secs. 3, 6, 8.

ровки вызовет ошибочные обвинения, обусловленные неверным пониманием, суть которых состоит в том, что необычное определение конгруэнтности основывается на введении *ad hoc* универсальных сил. Ввиду того что это обвинение направлено против конвенционального характера конгруэнтности, представляется существенным сделать так, чтобы утверждения Рейхенбаха были лишены какой-либо возможности вводить в заблуждение.

Рейхенбах¹ рассматривает большую полусферу, сделанную из стекла, которая переходит затем в огромную стеклянную плоскость, как это показано на рисунке, где дано ее поперечное сечение и где она изображается линией G , состоящей из прямой и полукруга. Используя жесткие тела, люди на этой поверхности легко определили бы, что это евклидова плоскость с полусферическим горбом в центре. Затем он предполагает, что имеется непрозрачная плоскость

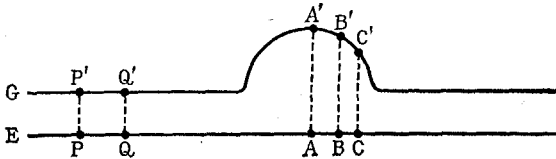


Рис. 2.

E , расположенная ниже поверхности G , как показано на рисунке. Вертикальные световые лучи, падающие на G , будут отбрасывать тени всех предметов, находящихся на этой поверхности, на плоскость E . Проводя измерения с помощью *действительно* жестких стержней, люди плоскости G найдут, что $A'B'$ и $B'C'$ равны, тогда как их проекции AB и BC на евклидову плоскость E будут неравны. Далее Рейхенбах хочет подготовить читателя к признанию конвенционального характера конгруэнтности, поставив перед ним следующий вопрос. Не могло ли случиться так, что:

1) *неравенство* AB и BC только *кажущееся*, эти интервалы и другие проекции, им подобные, в области R плоскости E , находящейся под полусферой, на самом деле равны, так что *истинная* геометрия плоскости E является *сферической* в области R и евклидовой только вне ее;

2) равенство $A'B'$ и $B'C'$ только *кажущееся*, истинная

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, Sec. 3.

геометрия поверхности G является *повсюду* плоской евклидовой геометрией, поскольку в кажущейся полусферической области R' поверхности G обнаруживается *реальное* равенство между интервалами, представляющими собой верхние вертикальные проекции E -интервалов в области R , которые равны в *обычном* смысле нашей повседневной жизни, и

3) на каждой из этих двух поверхностей перемещаемые измерительные стержни не могут совпасть с действительно равными интервалами в области R и R' соответственно, потому что они не остаются истинно конгруэнтными самим себе при транспортировке, деформируясь под воздействием неопределимых сил, являющихся универсальными в том смысле, что а) они одинаково действуют на все материалы и б) проникают через любые экранирующие стенки.

На основе концепций, изложенных в первой главе, *не содержащих каких-либо ссылок на универсальные силы*, можно, идя навстречу пожеланиям Рейхенбаха, использовать этот вопрос как основу истолкования конвенционального характера конгруэнтности, исходя из следующих соображений. Правомерность проведения различия между реальной (истинной) и кажущейся геометрией поверхности *зависит от существования внутренне присущей конгруэнтности*. Если бы существовала конгруэнтность, внутренне присущая пространству, тогда имелась бы основа для установления разницы между реальным (истинным) и кажущимся равенством стержня при его транспортировке. Однако ввиду того, что такой конгруэнтности нет, вопрос о том, является ли данная поверхность на самом деле евклидовой плоскостью с полусферическим горбом или только кажется таковой, должен быть *заменен* другим вопросом: если имеется *частное соглашение относительно конгруэнтности*, которое устанавливается выбором одной из функций Карнапа f , то удовлетворяют ли совпадения перемещаемого по данной поверхности стержня обсуждаемой геометрии или нет?

Таким образом, вопросу относительно геометрии на плоскости свойственна неопределенность, если не введена дефиниция конгруэнтности. И в свете конвенционального характера пространственной конгруэнтности мы имеем право установить метрику G и E либо обычным образом, либо иными путями, с тем чтобы описывать E как евклидову плоскость с полусферическим горбом в центре, а G как евклидову плоскость *повсюду*. Чтобы гарантировать пра-

вильность последнего необычного описания, нам необходимо только постулировать конгруэнтность тех соответствующих интервалов, которые в нашей ситуации именуется «действительно равными» в отличие от интервалов, кажущихся равными, о которых идет речь, в пунктах 1) и 2). Точно так же без предположения о внутренне присущей метрике вопрос об абсолютной или «реальной» деформации *всех* видов измерительных стержней, как если бы на них действовали универсальные силы, не может быть даже поставлен, *mutatis mutandis* те же самые соображения применимы и по отношению к часам. Поскольку стержень не подвержен никаким объективным физическим изменениям при предполагаемом «наличии» универсальных сил, это «наличие» означает не что иное, как только приписывание ему различной длины при разных положениях или ориентациях. Следовательно, так же как перевод длины стола с метров на футы не подразумевает действия на стол каких-либо сил в качестве «причины» изменения, так и ссылка на универсальные силы как «причины» «изменений» в перемещаемом стержне могут иметь не буквальное, а только *метафорическое* значение. Более того, упоминание об универсальных силах не является, по существу, обязательным способом рассуждения в данной ситуации, как это очевидно из того факта, что правило, приписывающее перемещаемому стержню длину, меняющуюся с изменением его положения и ориентации, может быть выражено и заданием функции Карнапа *f*.

Рейхенбах, однако, предпочитает формулировать конвенциональный характер конгруэнтности, проводя сначала различие между тем, что он называет «дифференциальными» и «универсальными» силами, а затем *метафорически* используя термин «универсальные силы» в своем высказывании о философском статусе метрики. Под «дифференциальными силами»¹ он имеет в виду термические и другие воздействия, которые мы называли в первой главе «пертурбационными» и присутствие которых оказывает искажающее влияние, проявляясь в зависимости совпадения перемещаемых стержней от их химического состава. Поскольку мы рассматриваем физическую геометрию как систему метрических отношений, *не зависящих* от химического состава, мы вносим

¹И. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, Sec. 3.

поправки на специфические субстанциальные деформации, вызываемые дифференциальными силами¹. Рейхенбах определяет «универсальные силы» как силы, обладающие двумя свойствами, а именно воздействовать на все материалы одинаковым образом и проникать всюду, поскольку для них не существует никаких преград, способных их экранировать. Имеется прецедент буквального, а не метафорического использования универсальных сил при формулировании определения конгруэнтности, позволяющих обеспечить *физическую реализацию* необычного определения конгруэнтности, которая выражала бы метрику внутри сферы радиуса R так, чтобы она представляла собой модель бесконечного трехмерного гиперболического пространства. Пуанкаре² постулировал, что а) каждая концентрическая сфера радиуса $r < R$ обладает постоянной абсолютной температурой $T \propto (R^2 - r^2)$, тогда как оптический показатель преломления обратно пропорционален $R^2 - r^2$ и б) *вопреки реальным фактам* все тела в пределах сферы имеют *один и тот же* коэффициент термического расширения. Существенно заметить, что расширение и сжатие этих тел при перемещении имеет *буквальный* смысл в данном контексте потому, что они *родственны* действительному поведению при перемещении наших нормальных евклидовых тел и связаны с термическими источниками³.

Однако *метафорическое* использование Рейхенбахом универсальных сил для формулирования определения конгруэнтности и выявления зависимости геометрии от этого определения принимает следующий вид: «Дана геометрия G' , которой удовлетворяют измерительные инструменты [*после* внесения поправок на эффекты термических и других «дифференциальных» воздействий], мы можем представить себе

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 26; H. P. Robertson, Geometry as a Branch of Physics, «Albert Einstein: Philosopher-Scientist», ed. by P. A. Schilpp (Evanston: Library of Living Philosophers, 1949), pp. 327—329; «The Geometries of the Thermal and Gravitational Fields», «American Mathematical Monthly», Vol. LVII (1950), pp. 232—245; E. W. Barnes, Heat Flow and Non-Euclidean Geometry, «American Mathematical Monthly», Vol. XLIX (1942), pp. 4—14.

² А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, М., 1904, стр. 75—77.

³ Точная аналогия *буквального* использования универсальных сил проводится Рейхенбахом («The Philosophy of Space and Time», pp. 11—12), чтобы наглядно выразить физическую реализацию определения конгруэнтности, удовлетворяющую сферической геометрии в области R поверхности E , о которой речь шла выше.

универсальную силу F , действующую на инструменты таким образом, что реальной геометрией оказывается произвольная геометрия G , тогда как наблюдаемые отклонения от G обязаны своим существованием универсальной деформации измерительных инструментов¹. И он продолжает, говоря, что если g'_{ik} ($i = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3$) представляют собой эмпирически полученные метрические коэффициенты геометрии G' , а g_{ik} — коэффициенты геометрии G , тогда тензор силы F задается тензорным уравнением

$$g'_{ik} + F_{ik} = g_{ik},$$

где g'_{ik} , обуславливающие наблюдаемую геометрию G' , получены экспериментально с помощью измерительных стержней² и где F_{ik} являются «поправочными коэффициентами» $g_{ik} - g'_{ik}$, которые добавляются к g'_{ik} с целью уточнения, чтобы были получены g_{ik} ³. Однако, поскольку Рейхенбах подчеркивает, что вопрос о том, приравниваем мы F_{ik} нулю или нет, является делом конвенции⁴, эта формулировка только *метафорически* утверждает, что вопрос соглашения состоит в следующем: либо говорят, что конгруэнтность должна существовать между интервалами, имеющими одинаковую длину ds , задаваемую метрикой $ds^2 = g'_{ik} dx^i dx^k$, которая содержит в себе G' как геометрическое описание

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 33.

² Подробности этой экспериментальной процедуры см. там же, разделы 39 и 40.

³ Мы увидим в разделе Б этой главы, что Рейхенбах *ошибался*, утверждая [там же, стр. 33—34], что для данной поверхности или трехмерного пространства частная метрика геометрии *детерминирует* 1) *уникальное* определение конгруэнтности и, коль скоро выбрана единица длины, 2) детерминирует также *уникальное* множество функций g_{ik} как представителей метрического тензора в любой частной системе координат. Оказывается, существует бесконечное множество *несовместимых* определений конгруэнтности и столько же соответственно различных метрических тензоров, которые придают одинаковую геометрию физическому пространству. Следовательно, в то время, как данный метрический тензор дает *уникальную* геометрию, геометрия G не определяет метрический тензор *уникальным* образом в рамках постоянного множителя, зависящего от выбора единицы. И таким образом, Рейхенбах неправ, когда говорит о компонентах g_{ik} частного метрического тензора как о «компонентах G » [там же] и полагает, что *уникальная* F определяется требованием, чтобы преобладала некоторая геометрия G вместо наблюдаемой геометрии G' .

⁴ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, pp. 16, 27—28, 33.

наблюдаемых отношений совпадения, либо между интервалами, имеющими одинаковую длину ds , задаваемую метрикой $ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k$, которая приводит к иной геометрии G^1 . Тогда ясно, чтобы приравнять универсальные силы нулю, нужно выбрать метрику, основанную на тензоре g_{ik} , полученном при помощи измерений, в которых стержень повсюду назывался конгруэнтным самому себе. Иными словами, чтобы обусловить $F_{ik} = 0$, нужно выбрать обычный стандарт конгруэнтности, основанный на жестком теле.

С другой стороны, чтобы обусловить невозможность приравнивания нулю всех компонентов F_{ik} , следует принять необычную метрику, задаваемую тензором g_{ik} , соответствующую специфическим изменениям длины парижского стержня с изменением положения, или ориентации, или времени ².

¹ Следует ясно понять, что g_{ik} обеспечивает отношение конгруэнтности, несовместимое с конгруэнтностью, обеспечиваемой g'_{ik} , поскольку в любой данной системе координат они являются различными функциями данных координат и не пропорциональны друг другу. (Различие, состоящее только в пропорциональности, могло бы подразумевать различие не в классах конгруэнтности, а в используемых системах единиц длины.) Несовместимость конгруэнтностей, обусловленная двумя множествами метрических коэффициентов, является необходимым, хотя и недостаточным условием (см. сноску 3 на стр. 107) неидентичности связанных с ними геометрий G и G' .

Различие между двумя метрическими тензорами, соответствующее несовместимым конгруэнтностям, не следует смешивать с различием только отображений в разных системах координат одного метрического тензора, соответствующего единому критерию конгруэнтности (для данного выбора единиц длины): первое иллюстрируется несовместимыми метризациями $ds^2 = dx^2 + dy^2$ и $ds^2 = (dx^2 + dy^2)/y^2$, в которых метрические коэффициенты являются соответственно различными функциями одних и тех же прямоугольных координат, тогда как последнее иллюстрируется использованием сначала прямоугольных, а затем полярных координат для выражения одной и той же метрики: $ds^2 = dx^2 + dy^2$ и $ds^2 = dr^2 + r^2 d\theta^2$. В последнем случае мы имеем дело не с различными метризациями пространства, а только с различными координатизациями (параметризациями) его, по крайней мере одна пара соответствующих метрических коэффициентов имеет члены, являющиеся различными функциями их соответствующих координат, но выбравши они таким образом, чтобы обеспечить инвариантный ds .

² Имеется более простая иллюстрация того, что если только одна компонента F_{ik} не обращается в нуль, то конгруэнтность, связанная с g_{ik} , будет несовместима с конгруэнтностью g'_{ik} и, следовательно, будет необычной. Если мы рассматриваем метрики $ds^2 = dx^2 + dy^2$ и $ds^2 = 2dx^2 + dy^2$, тогда сравнение некоторого

Хотя метафорическое употребление Рейхенбахом термина «универсальные силы» имеет результатом совершенно ненужные, вводящие в заблуждение сложности, которые мы сейчас покажем, сам он вообще не думал об этом. В 1951 году он писал об универсальных силах: «Предположение о наличии таких сил означает только изменение в координативной дефиниции конгруэнтности»¹. Поэтому крайне удивительно, что в 1956 году Карнап, который ясно сформулировал, как мы видели, ту же самую идею неметафорическим образом, отметил, что оценка и описание Рейхенбахом обычной дефиниции конгруэнтности с помощью приравнивания нулю универсальных сил представляет собой ценный вклад в науку выдающейся работы Рейхенбаха «Философия пространства и времени». В своем предисловии к этой книге Карнап говорит:

Из многих плодотворных идей, которые были предложены Рейхенбахом... я упомяну только одну, которая, как представляется мне, имеет большое значение для методологии физики, но которой до сих пор не оказано достойного внимания. Это принцип элиминирования универсальных сил... Рейхенбах предлагает принять в качестве общего методологического принципа положение о том, что мы выбираем среди эквивалентных форм физических теорий такую теорию (или, иными словами, такое определение «жесткого тела», или «измерительного стандарта»), при котором исчезают все универсальные силы².

Возможность неверного понимания, вытекающая из ссылки на метафорические «универсальные силы» при установлении определения конгруэнтности в соответствующих ситуациях, проявляет себя следующими тремя способами:

1) Формулирование необычного определения конгруэнтности с помощью деформаций, вызываемых универсальными силами, порождает ошибочное обвинение в том, что это конгруэнтность *ad hoc*, потому что она подразумевает тем самым *ad hoc* постулирование неисчезающих универсальных сил.

интервала, для которого $dx=1$, а $dy=0$ с интервалом, характеризующимся $dx=0$, а $dy=1$, приведет к конгруэнтности, согласно первой из этих метрик, но не согласно второй.

¹ E. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley: University of California Press, 1951, p. 133.

² R. Carnap, Preface to H. Reichenbach's «The Philosophy of Space and Time», New York: Dover Publications, 1957, p. 7.

2) В формулировке определения конгруэнтности, предлагаемой Рейхенбахом для объяснения геометрии пространства в *гравитационном* поле, должны использоваться универсальные силы, которые действуют как в буквальном, так и в метафорическом смысле. Соединение обоих этих смыслов приводит к противоречивой на вид формулировке обычного определения конгруэнтности.

3) Поскольку изменчивость кривизны пространства в смысле обычной конгруэнтности обнаруживала бы себя в изменении отношений совпадения твердых тел любых видов при их перемещении, Рейхенбах говорит о телах, перемещаемых в таком пространстве, как о сущностях, испытывающих воздействие универсальных сил, «ликвидирующих совпадения»¹. Точно так же как и в случае гравитации, соединение буквального смысла с метафорическим делает это обычное определение жесткости в данном контексте парадоксальным.

Мы сейчас по порядку обсудим эти три источника путаницы.

1. Если требование самоконгруэнтности имеет фактуальное содержание, так что альтернативная конгруэнтность должна быть в принципе ложной, тогда имело бы смысл говорить о дефиниции необычной конгруэнтности как о дефиниции *ad hoc* в том смысле, что она представляла бы собой требование, которое, *очевидно, не гарантируется фактами*. Но так как приписывание самоконгруэнтности является не фактуальным, а конвенциональным, то ни обычная, ни какая-либо необычная дефиниция конгруэнтности не может быть дефиницией *ad hoc*. Следовательно, отказ от первой дефиниции в пользу дефиниции последнего типа является операцией в смысле *ad hoc* ничуть не больше, чем переградуировка термометра Цельсия на шкалу Фаренгейта или замена декартовых координат полярными. При формулировке необычной дефиниции конгруэнтности с помощью метафорического использования универсальных сил Рейхенбах дает возможность ошибочно истолковать его метафорический смысл в качестве буквального. И коль скоро была допущена такая ошибка, те, кто ее допустил, молчаливо исходили из того, что обычное определение конгруэнтности является фактуально истинным,

¹ H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, p. 27.

и считали вполне законным отклонять остальные дефиниции определения конгруэнтности как *ad hoc* на тех основаниях, что они якобы подразумевают *ad hoc* предположение (буквально понимаемых) универсальных сил. В равной степени можно сказать, что изменение единиц длины представляет собой операцию *ad hoc*.

Таким образом, мы находим, что Эрнст Нагель, например, не заметил, когда писал о Пуанкаре, что ссылка на универсальные силы для сохранения евклидовой геометрии представляет собой операцию *ad hoc* не в большей степени, чем переход от прямоугольных координат к полярным, когда уравнение окружности записывается как $\rho = k$ вместо $\sqrt{x^2 + y^2} = k$. Приняв за доказанное, что, если это необходимо, евклидова геометрия может быть сохранена путем ссылки на универсальные силы, Нагель пишет: «Тем не менее универсальные силы обладают странным свойством, а именно их наличие может быть установлено *только* на основе геометрических соображений. Предположение о существовании таких сил имеет видимость гипотезы *ad hoc*, вводимой только с целью спасения Евклида»¹. Однако истолкование самим Нагелем, но отнюдь не Пуанкаре характера соответствующего вида универсальных сил позволяет ему сделать вывод, что Пуанкаре должен прибегать к помощи некоторой гипотезы *ad hoc*, чтобы гарантировать евклидово описание установленных наблюдательных фактов. Ибо в рамках схемы физической теории, рассматривающей пространство как математический континуум — предположение, на которое, по существу, опирается тезис Пуанкаре, — не дает никаких оснований для обвинения Пуанкаре в ссылке на гипотезу *ad hoc*. Ссылка на универсальную силу определенного типа, наличие которой «может быть установлено *только* на основе геометрических соображений» и которая вводится «только с целью спасения Евклида», является операцией *ad hoc* не в большей степени, чем применение полярных, а не прямоугольных координат. Беспокойство Нагеля относительно того, что тезис Пуанкаре можно подтвердить только ценой предположения *ad hoc* существования универсальных сил, столь же неосновательно, как и следующее утверждение: числовое возрастание длин всех предметов, вызываемое переходом от метров

¹ E. Nagel, *The Structure of Science*, New York: Harcourt, Brace and World, 1961, p. 264.

к дюймам, требует постулирования *ad hoc* универсальных сил как «физической причины» этого универсального удлинения.

2. Относительно геометрии в гравитационном поле Рейхенбах говорит следующее: «Мы уже знаем... о различии между *универсальными* и *дифференциальными* силами. Эти понятия имеют значение для данной проблемы, потому что мы обнаруживаем, что гравитация является универсальной силой. В самом деле, она воздействует на все тела одинаково. В этом состоит физическое значение равенства гравитационной и инерционной масс»¹. Конечно, по существу верно, что однородное гравитационное поле (которое нельзя устранить в данной пространственно-временной системе координат) является универсальной силой в *буквальном* смысле *по отношению к большому классу явлений*, таких, как свободное падение тел. Однако имеются другие явления, такие, как искривление упругих балок, относительно которых тяготение представляет собой явно *дифференциальную* силу в смысле Рейхенбаха: под действием силы тяжести деревянная книжная полка прогнется больше, нежели стальная. И это, между прочим, показывает, что *разделение Рейхенбахом сил на универсальные и дифференциальные не говорит об их взаимоисключении*. Конечно, как и в случае любой другой силы, оказывающей дифференциальное воздействие на измерительные стержни, при установлении дефиниции конгруэнтности следует сделать допущение на дифференциальное воздействие сил тяготения.

Следовательно, здесь двойная проблема: во-первых, имеет ли отношение к геометрии пространства тот факт, что гравитация является универсальной силой в *буквальном* смысле, как указано выше, и, во-вторых, отличается ли чем-либо при наличии гравитационного поля логика дефиниции конгруэнтности по отношению к роли *метафорических* универсальных сил от логики этой дефиниции при отсутствии гравитационного поля? В частности, в общей теории относительности действительно имеется *буквальный* смысл, в котором гравитационное поле, например, Солнца проявляет себя в геометрическом отношении каузально как универсальная сила. И буквальный смысл, в котором совпадения перемещаемого обычного жесткого тела отличаются объек-

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 256.

тивно в окрестностях Солнца, например, от его совпадений при отсутствии гравитационного поля, можно выразить двумя способами, а именно: 1) *по отношению к конгруэнтности, определяемой обычным жестким телом*, геометрия пространства в гравитационном поле является неевклидовой — вопреки дорелятивистской (в смысле общей теории относительности) физике, — однако она является евклидовой при отсутствии гравитационного поля; 2) геометрия в гравитационном поле является евклидовой, если и только если обычное определение конгруэнтности заменяется определением, в котором длина стержня *соответственно* меняется с его положением или ориентацией¹, оставаясь евклидовой в смысле обычного определения конгруэнтности при исчезающем гравитационном поле. Однако нужно будет отметить, что формулировка 1) вообще не ссылается на какие-либо деформации стержня под действием универсальных сил, когда тело перемещается с места на место в данном гравитационном поле. Нет никакой нужды в какой-либо метафорической ссылке на универсальные силы при установлении обычной дефиниции конгруэнтности, которая входит в формулировку 1). Ибо это утверждение может быть выражено следующим образом: при наличии, равно как и при отсутствии, гравитационного поля конгруэнтность является конвенциональной и, следовательно, мы свободны в выборе обычной конгруэнтности также в гравитационном поле в качестве основы для определения геометрии пространства. Обременение дефиниции конгруэнтности метафорическим употреблением термина «универсальные силы» привело Рейхенбаха к опрометчивому и неверному выводу, что стержень, испытывающий воздействие универсальной силы гравитации в специфическом *буквальном* смысле, *не может* последовательно рассматриваться как *свободный* от деформирующего воздействия универсальных сил в *метафорическом* смысле и, следовательно, не может служить в качестве стандарта конгруэнтности. Это смешение буквального и метафорического смысла понятия «универсальные силы» в контексте теории, предполагающей непрерывность пространства, приводит в результате к ошибочному мнению, что в общей теории относительности обычное определение про-

¹ Для гравитационного поля Солнца функция, обуславливающая необычную дефиницию конгруэнтности, имеющую результатом евклидову геометрию, дана Карнапом (R. Carnap, *Der Raum*, S. 58).

странственной конгруэнтности не может быть признано состоятельным для гравитационного поля. И те, кого метафора Рейхенбаха привела к подобной ошибочной концепции, будут, следовательно, рассматривать как внутренне противоречивое следующее его утверждение, которое на самом деле таковым не является: «Мы не говорим об изменении, вызываемом гравитационным полем в измерительных инструментах, но рассматриваем измерительные инструменты как «свободные от деформирующих сил», несмотря на гравитационные воздействия»¹. Кроме того, те, кто стали жертвами метафорического языка Рейхенбаха, будут вынуждены отвергать как несостоятельную характеристику геометрии в гравитационном поле, данную Эйнштейном в общей теории относительности и изложенную в приведенной выше формулировке 1). И они будут ошибочно настаивать на том, что формулировки 1) и 2) не являются равно приемлемыми альтернативами на том основании, что только формулировка 2) является единственно правильной.

Смешение буквального и метафорического смысла понятия «универсальная сила» при ссылках на тяготение в теоретической ситуации, когда предполагается непрерывность пространства, характерно например, для трактовки Нагелем универсальных сил с вытекающими отсюда возможностями для еще большей путаницы. Так, он неверно ссылается на силу тяготения, рассматривая ее действие в качестве «универсальной силы» в *буквальном* смысле как *разновидность* сил, которые являются «универсальными силами» только в *метафорическом* смысле в рамках теории, предполагающей непрерывность физического пространства.

В частности, относительно предположения Пуанкаре об «универсальных силах», присутствие которых «может быть установлено *только* на основе геометрических соображений», поскольку они предполагаются «только с целью спасения Евклида», то есть являются универсальными силами в *метафорическом* смысле, Нагель говорит: «Выражение «универсальная сила» не следует оценивать как «бессмысленное», ибо очевидно, что здесь указывается на процедуру, с помощью которой можно установить, имеются такие силы или нет. В самом деле, гравитация в ньютоновой теории механики является именно такой универсальной силой; она

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 256.

действует на все тела одинаково, и её нельзя экранировать»¹. Однако ошибочное отождествление Нагелем ньютонова тяготения как «именно такой универсальной силы» с метафорическим видом универсальных сил, присутствие которых «может быть установлено *только* на основе геометрических соображений», может привести к неверному выводу, что стержень, подверженный воздействию гравитационного поля, *не может* рассматриваться как «свободный» от «универсальных сил» в том смысле, что при выполнении своих метрических функций при перемещении он остается конгруэнтным самому себе.

Точно такая ошибка и была допущена Файерабендом, который рассматривал отношение гипотетической универсальной силы в *буквальном* смысле к метрической функции транспортируемого стержня. Так, Файерабэнд ошибочно предполагал, что стержень следует рассматривать как испытывающий *искажения* при наличии универсальных сил в *буквальном* смысле, которые «действуют на все химические вещества одинаково, но которые обнаруживают себя в незначительных изменениях, вызываемых ими в вероятностях переходов атомов, излучающих в этой области»².

3. По аналогии со случаем гравитации, который только что обсуждался, можно утверждать: поскольку конгруэнтность конвенциональна, мы свободны в использовании обычного определения ее безоотносительно к тому, является ли геометрия, полученная с помощью измерений, выполненных на основании этого определения, геометрией *переменной* кривизны или нет. Таким образом, мы видим, что, для того чтобы избежать ненужного метафорического употребления понятия «универсальные силы» при определении конгруэнтности не следует обращать внимание на то, будет ли полученная в результате геометрия геометрией постоянной кривизны или нет. Геометрия постоянной кривизны, или так называемая «конгруэнтная геометрия», характеризуется тем, что в ней имеет силу «аксиома свободной подвижности»: например, передвижение на поверхности сферы треугольника, обладающего в данном месте

¹ E. Nagel, *The Structure of Science*, p. 264, n. 19.

² См.: P. K. Feyerabend, *Comments on Grünbaum's «Law and Convention in Physical Theory»*, в: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), *Current Issues in the Philosophy of Science*, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1961, p. 157; A. Grünbaum, *Rejoinder to Feyerabend*, *ibid.*, pp. 164—167.

определенными углами и сторонами, не сопровождается какими-либо изменениями в их величинах с точки зрения обычных стандартов конгруэнтности для углов и интервалов. Напротив, на поверхности, имеющей форму яйца, несостоятельность сохранения аксиомы свободной подвижности легко может быть установлена на основании следующего индикатора изменчивости кривизны для двухмерного пространства: имеется круг и диаметр, изготовленные из любой проволоки и собранные таким образом, что один конец P диаметра привязан с окружности, а другой конец S свободен, если этот второй конец совпадает с противоположной точкой Q на окружности в данном начальном положении, то он не будет совпадать с ней в другом месте яйцевидной поверхности. Так как отношение диаметра и окружности круга *изменяется* в пространстве переменной кривизны, ибо меняется кривизна яйцевидной поверхности, S не будет больше совпадать с Q , если проволочный круг и прикрепленный к нему диаметр PS перемещаются по поверхности яйца таким образом, что повсюду сохраняют контакт с поверхностью яйца. Этот индикатор совершенно независимо от своего химического состава устанавливает объективное нарушение совпадения S и Q (при условии однородной температуры и т. д.).

Поэтому здесь можно говорить *буквально*, как это делает Рейхенбах¹, об универсальных силах, действующих на индикатор, *ликвидируя совпадение*. И поскольку обычная дефиниция конгруэнтности по сути дела допустима в качестве основания геометрий переменной кривизны, не будет, конечно, никакого противоречия, если определение конгруэнтности дать путем приравнивания *нулю* универсальных сил в *метафорическом* смысле, несмотря на то, что нарушение совпадений свидетельствует о совершенно *буквальном* наличии каузального действия универсальных сил. Однако Рейхенбах ссылается на универсальные силы *буквально*, без каких-либо предупреждений относительно последующей ссылки на них в метафорическом смысле при определении конгруэнтности. И поэтому читатель бывает обескуражен кажущимся парадоксом в утверждении Рейхенбаха о том, что «силы, *ликвидирующие совпадения*, также должны быть приравнены нулю, если они удовлетворяют свойствам уни-

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, Sec. 6.

версальных сил, упомянутых на стр. 13; только тогда проблема геометрии определяется уникальным образом»¹. И вновь опасность смешения может быть элиминирована, если при определении конгруэнтности обойтись без метафор.

Хотя я и считаю, что книга Рейхенбаха «Философия пространства и времени» является одной из наиболее глубоких работ, посвященных этому вопросу, предыдущий анализ все же показывает, почему я не могу разделить утверждения Нагеля, что в этой книге Рейхенбаха «для внесения полной ясности... использует различие между «универсальными» и «дифференциальными» силами»².

Коль скоро утверждения Рейхенбаха относительно универсальных сил лишены возможности вводить в заблуждение, мы можем перейти теперь к обсуждению других проблем, возникающих в связи с его утверждениями, изложенными в терминах универсальных сил.

Первая из этих проблем состоит в следующем: «Мы получаем высказывание относительно физической реальности только в том случае, если кроме геометрии G пространства установлено универсальное поле силы F . Только комбинация

$$G + F$$

представляет собой утверждение, которое можно проверить»³. Чтобы оценить это высказывание, рассмотрим поверхность, на которую накладывается некоторая система обобщенных криволинейных (или «гауссовых») координат. Координатизация пространства, целью которой является установление для топологических окрестностей какого-то числа точек отношения «между», не предполагает, как *таковая* (не подразумевает), какой-либо метрики. Однако установление *правил*, гарантирующего, что различные люди будут независимо друг от друга устанавливать *одинаковую* координатизацию данного пространства, возможно, потребует ссылки на применение измерительного стержня. Но даже в случае прямоугольных (декартовых) координат, заданных с помощью жесткого стержня, вполне можно игнорировать способ, которым были введены координаты, и рассматривать их чисто топологически, так

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 27.

² E. Nagel, The Structure of Science, p. 264, n. 18.

³ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 33.

что метрика, весьма отличная от $ds^2 = dx^2 + dy^2$, может быть затем спокойно введена совершенно непротиворечивым образом. В соответствии с этим введем метрику $ds^2 = g_{ih}dx^i dx^h$ для поверхности, где уже имеются координаты, совершенно произвольно выбрав соответствующее множество функций g_{ih} данных координат. Предположим, что последняя спецификация геометрии G не связана с какой-либо информацией относительно F . Тогда правильно ли будет сказать, что коль скоро эта метризация вообще не дает никакой информации относительно совпадений стержня при его перемещении по этой поверхности, она не сопровождается никакой фактуальной информацией относительно этой поверхности или физической реальности? Что такой вывод ошибочен, видно из следующего: в зависимости от того, является ли гауссова кривизна K , обусловленная g_{ih} , положительной (сферическая геометрия), нулевой (евклидова геометрия) или отрицательной (гиперболическая геометрия), объективный факт, связанный с данной поверхностью, состоит в том, что через точку, расположенную вне данной геодезической линии, будет проходить соответственно 0, 1 или бесконечное множество таких геодезических линий, которые не будут пересекаться с данной геодезической. Однако пересекаются некоторые линии на поверхности или нет, это только топологический факт, связанный с ней. И следовательно, мы можем сказать, что, хотя произвольная метризация пространства без спецификации F в целом не лишена фактуального содержания, имеющего отношение к этому пространству, все-таки эта метризация не может обеспечить никаких объективных фактов относительно пространства, которые не содержаться предварительно в топологии последнего.

Поэтому мы можем сделать вывод: если описание пространства (поверхности) должно содержать эмпирическую информацию относительно совпадений перемещаемых в этом пространстве стержней и если выбрана такая метрика $ds^2 = g_{ih}dx^i dx^h$ (а тем самым и геометрия G), что ее конгруэнция не согласуется с конгруэнцией, определяемой с помощью прикладывания перемещаемых стержней, тогда на самом деле имеет силу утверждение Рейхенбаха. В частности, выбранный метрический тензор g_{ih} и связанная с ним геометрия G должны тогда согласоваться со спецификацией иного метрического тензора g'_{ih} , который был бы найден экспериментально, если стержень выбран в качестве стан-

дарта конгруэнтности. Однако установление Рейхенбахом такой спецификации с помощью универсальной силы F представляет собой совершенно ненужный обходный путь. Ибо F определяется с помощью $F_{ik} = g_{ik} - g'_{ik}$, и ее нельзя установить, если не известны оба метрических тензора. Таким образом, утрачивается ясность при ссылках на то, что метрический тензор g'_{ik} , в котором зашифрована эмпирическая информация относительно стержня, был сначала получен из тождества

$$g'_{ik} = g_{ik} - F_{ik}.$$

Б. «Относительность геометрии»

Чтобы подчеркнуть зависимость метрической геометрии от определения конгруэнтности, Рейхенбах говорит об «относительности геометрии». Однако в его характеристике этой зависимости имеется серьезная ошибка, которая заключается в следующем: «Если мы изменяем координативную дефиницию конгруэнтности, то в результате получаем иную геометрию. Этот факт именуется *относительностью геометрии*¹, и более определенно, «нет никакой ошибки, когда координативная дефиниция устанавливается, исходя из требования, что некоторый вид геометрии должен появиться как результат измерения... Координативная дефиниция может также быть введена предписанием того, каким должен быть результат измерений. «Сравнение тел по длине должно быть выполнено таким образом, чтобы его результатом была геометрия Евклида», — это условие является возможной формой координативной дефиниции»². Утверждение Рейхенбаха состоит в том, что данная метрическая геометрия *однозначно* определяет класс конгруэнтности (или дефиницию конгруэнтности), соответствующий ей.

Мы сейчас покажем, что данное утверждение является ошибочным: мы покажем, что, кроме обычной дефиниции конгруэнтности, которая повсюду приписывает одинаковую длину измерительному стержню и тем самым евклидову геометрию поверхности обычного стола, имеется бесконечно много *других* дефиниций конгруэнтности. Они точно так

¹ H. Reichenbach, The Rise of Scientific Philosophy, p. 132.

² H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, pp. 33—34.

же дают в итоге евклидову геометрию для этой поверхности, однако несовместимы с обычным определением, поскольку делают длину стержня зависящей от его ориентации и (или) положения.

Рассмотрим горизонтальную поверхность стола, снабженную сетью декартовых координат x и y , но теперь метризуем эту поверхность с помощью нестандартной метрики

$$ds^2 = \sec^2 \theta dx^2 + dy^2,$$

где $\sec^2 \theta$ является константой *большей, чем 1*. В отличие от стандартной метрики эта метрика приписывает интервалу, координаты которого отличаются на dx , *не* длину dx , а *большую* длину $\sec \theta dx$, приписывая одновременно длину dy интервалу, координаты которого различаются только на dy . Хотя, согласно этой метрике, длина данного стержня в данном случае становится зависимой от его ориентации, мы покажем, что возможно *бесконечное* количество различных нестандартных конгруэнтностей, обусловленных значениями $\sec \theta$, превышающими 1, причем каждая из них придает поверхности стола *евклидову* геометрию с таким же успехом, как и стандартная конгруэнтность, которая задается через $ds^2 = dx^2 + dy^2$.

В соответствии с этим наше доказательство покажет, что требование евклидовости *не* определяет однозначным образом класс конгруэнтных интервалов, но допускает *бесконечное множество несовместимых* конгруэнтностей. Мы должны будем доказать, что существует бесконечно много способов, какими будет изгибаться стержень при транспортировке на плоской поверхности по сравнению с его обычным де-факто поведением, сохраняя в то же время евклидову геометрию для этой поверхности.

Чтобы представить требуемое доказательство, мы прежде всего отметим, что геометрия, получаемая в результате частной метризации, очевидно, не зависит от частных координат, в которых эта метризация выражается. И следовательно, если бы мы выразили стандартную метрику

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

с помощью штрихованных координат x' и y' , задаваемых преобразованиями

$$x = x' \sec \theta,$$

$$y = y',$$

получая при этом

$$ds^2 = \sec^2 \theta dx'^2 + dy'^2,$$

мы получили бы, как и прежде, *евклидову* геометрию, поскольку последнее уравнение выражало бы только первоначальную стандартную метрику с помощью штрихованных координат. Таким образом, когда один и тот же *инвариант* выражается с помощью как штрихованных, так и нештрихованных координат, метрические коэффициенты g_{ik} , задаваемые $\sec^2 \theta$, 0 и 1, дают в результате евклидову геометрию с таким же успехом, как и нештрихованные коэффициенты 1, 0, и 1.

Далее, это элементарное дополнительное заключение позволяет нам увидеть, что следующая *нестандартная* метризация (или *реметризация*) поверхности с помощью *первоначальных*, нештрихованных прямоугольных координат должна точно так же приводить к евклидовой геометрии

$$ds^2 = \sec^2 \theta dx^2 + dy^2.$$

Ибо значение гауссовой кривизны и, следовательно, преимущественной геометрии зависит не от частных координат (штрихованных или нештрихованных), к которым относятся метрические коэффициенты g_{ik} , а только *от вида функции* g_{ik}^1 , который здесь одинаков со случаем g'_{ik} , рассмотренным выше.

Следовательно, с более общей точки зрения геометрия, являющаяся результатом *стандартной* метризации, обеспечивается *также* следующей *нестандартной* метризацией пространства точек, выражаемой с помощью тех же самых (нештрихованных) координат, что и стандартная метризация: для *нестандартной* метризации характерны нештрихованные метрические коэффициенты g_{ik} , имеющие ту же самую *функциональную форму* (в пределах произвольной константы, обусловленной выбором единицы длины), что и штрихованные коэффициенты, которые получаются, когда *стандартная* метрика выражается в той или иной системе *штрихованных* координат с помощью соответствующих преобразований. Ввиду большого разнообразия допустимых преобразований координат сразу же можно сделать вывод, что класс *нестандартных* метризаций, приводящих к евклидо-

¹ Ф. Клейн, *Неевклидова геометрия*, М.—Л., 1936, стр. 306.

вой геометрии поверхности стола, гораздо шире, чем класс, задаваемый уравнением

$$ds^2 = \sec^2 \theta dx^2 + dy^2$$

(где $\sec^2 \theta > 1$), который сам уже является бесконечным. Таким образом, имеется, например, *тождество по форме между функциями*, выражающими *стандартную* метрику в полярных координатах, которая задается

$$ds^2 = d\rho^2 + \rho^2 d\theta^2,$$

и функциями, выражающими *нестандартную* метрику в декартовых координатах, которая задается

$$ds^2 = dx^2 + x^2 dy^2,$$

поскольку x играет с *формальной* точки зрения ту же самую роль, что и ρ ; это же можно сказать об y и θ . Следовательно, последняя, *нестандартная*, метрика имеет результатом *евклидову* геометрию так же, как к этому приводит и прежний стандарт.

Ясно, что разнообразие метризаций, которое мы доказали для евклидовой геометрии, в равной степени имеет место для каждой из неевклидовых геометрий. Неспособность геометрий двух или более измерений установить однозначным образом дефиницию конгруэнтности не имеет однако двойника в *одномерном* временном континууме: требование, чтобы законы Ньютона имели силу в их обычной метрической форме, однозначно устанавливает дефиницию временной конгруэнтности. И следовательно, можно, полагаясь на закон инерции трансляционного или вращательного движения, определить временную метрику или «однородное время».

Опираясь на этот результат, мы можем теперь показать, что ряд утверждений Рейхенбаха и Карнапа являются ошибочными.

1) В 1951 году Рейхенбах писал, как уже упоминалось в начале этого раздела: «Если мы изменяем координативную дефиницию конгруэнтности, то в результате получаем иную геометрию. Этот факт именуется *относительностью геометрии*»¹. Ошибочный характер этого утверждения очевиден из того, что если в нашем примере с поверхно-

¹ H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, p. 132.

стью стола мы заменим нашу дефиницию конгруэнтности $ds^2 = dx^2 + dy^2$ одной из бесконечного множества других дефиниций, несовместимых с ней, которая выражается формулой $ds^2 = \sec^2 \theta dx^2 + dy^2$, то в результате получим ту же самую евклидову геометрию. Таким образом, вопреки Рейхенбаху введение не обращающейся в нуль универсальной силы, что соответствует введению какой-то иной конгруэнтности, не гарантирует изменения геометрии. Напротив, правильная формулировка относительности геометрии состоит в том, что функция ds , содержащая дефиницию конгруэнтности, однозначным образом определяет геометрию, но не наоборот, и что любая из дефиниций конгруэнтности, приводящая в результате к геометрии G' , всегда может быть заменена бесконечно многими *соответствующими* конгруэнтностями иного вида, которые дадут в результате *иную* геометрию G . Ввиду того, что геометрия однозначно фиксируется определением конгруэнтности в смысле фактов совпадения, отказ от данной геометрии в пользу иной геометрии, конечно, требует изменения и в дефиниции конгруэнтности. И новая дефиниция конгруэнтности, от которой ожидают, что она обеспечит новую искомую геометрию, может быть предложена одним из следующих двух способов: 1) установлением системы геодезических линий, *отличной* от системы, получающейся в результате первоначальной дефиниции конгруэнтности, или 2) если геодезические линии, устанавливаемые новой дефиницией конгруэнтности, *такие же*, как и связанные с первоначальной, тогда должна быть иной конгруэнтность *углов*¹, то есть новая дефиниция конгруэнтности должна потребовать иного класса конгруэнтности углов².

Что положение 2) дает подлинную возможность для получения иной геометрии, очевидно из следующего примера отображения сферы геодезических на плоскость. Такое отображение дает нам возможность заметить два

¹ Спецификация величин, приписываемых углам компонентами g_{ik} метрического тензора, была дана в первой главе в разделе В.

² По поводу других общих теорем, которым подчиняется так называемое «геодезическое соответствие» или «геодезическое отображение», имеющих отношение к нашей теме, см.: L. P. Eisenhart, An Introduction to Differential Geometry, Princeton: Princeton University Press, 1947, Sec. 37, pp. 205—211, D. J. Struik, Differential Geometry, pp. 177—180.

несовместимых определения конгруэнтности:

$$ds_1^2 = g_{ih} dx^i dx^h$$

и

$$ds_2^2 = g'_{ih} dx^i dx^h.$$

В результате мы будем иметь *одну и ту же* систему геодезических линий, выраженных уравнениями $\delta \int ds_1 = 0$ и $\delta \int ds_2 = 0$, устанавливая тем не менее *различные* геометрии (гауссовой кривизны), так как они требуют несовместимых классов конгруэнтных *углов*, пригодных для каждой геометрии соответственно. Горизонтальная поверхность, представляющая собой евклидову плоскость, согласно *обычной* метризации, может быть метризована так, что она будет иметь геометрию полусферы, получающейся путем проектирования на плоскость из центра сферы через ее *нижнюю* половину, причем южный полюс сферы покоится на этой плоскости. Отрезки и углы на горизонтальной поверхности, именуемые конгруэнтными, являются соответственно проекциями равных отрезков и углов на нижнюю полусферу, дуга большого круга полусферы отображается в прямые евклидовы линии плоскости, так что *каждая* прямая евклидова описания является *также* прямой (геодезической) новой полусферической геометрии, приписываемой горизонтальной поверхности¹. Однако линейные отрезки на этих двукратных геодезических, которые, согласно новой метрике, оцениваются как конгруэнтные, оказываются неконгруэнтными, согласно стандартной метрике, и *углы* на горизонтальной поверхности, конгруэнтные, согласно новой метризации, не являются таковыми в первоначальной метризации, имеющей результатом евклидово описание. Описание с помощью новой метризации конгруэнтности углов, связанной с первоначальной, может быть сделано, очевидно, следующим образом.

Рассмотрим два треугольника ABC и $A'B'C'$, которые определяются как подобные в евклидовой геометрии с первоначальной метризацией, так что $\sphericalangle A = \sphericalangle A'$, $\sphericalangle B = \sphericalangle B'$ и $\sphericalangle C = \sphericalangle C'$. Поскольку в данном случае геодезические новой метризации, то есть связанной с ней неевклидовой (сферической) геометрии, *те же самые*, что и геодезические

¹ Математические подробности см. в: D. J. Struik, *Differential Geometry*, p. 179.

евклидовой геометрии, треугольники ABC и $A'B'C'$ по-прежнему будут *прямолинейными* треугольниками согласно новой метризации. Но поскольку в сферической геометрии положительной гауссовой кривизны, получаемой в результате новой метризации, не существует никаких подобных треугольников, треугольники ABC и $A'B'C'$ больше не являются подобными, согласно новой метризации, хотя и остаются по-прежнему прямолинейными. Следовательно, согласно новой метризации, первоначальная конгруэнтность углов не может быть больше получена.

Однако следует отметить, что, если изменение в дефиниции конгруэнтности *сохраняет* определенные геодезические линии, ее выход в *иной* класс конгруэнтных углов является только необходимым, но не достаточным условием, чтобы придать поверхности метрику, *отличную* от той, которая была обусловлена исходной дефиницией конгруэнтности. Этот факт становится очевидным, если напомнить пример с поверхностью стола, являющейся моделью евклидовой геометрии, согласно *как* обычной метрике $ds^2 = dx^2 + dy^2$, так и иной метрике $ds^2 = \sec^2 \theta dx^2 + dy^2$: геодезические, так же как и геометрии, полученные на основании этих несовместимых метрик, одинаковы, однако углы, конгруэнтные согласно новой метрике, вообще неконгруэнтны согласно исходной метрике. Ибо эти две метрики данной поверхности не связаны конформным преобразованием, как оно определено в разделе В первой главы, и конформное отношение между этими двумя метриками является необходимым, а не только достаточным условием для тождества связанных с ними конгруэнтностей углов¹. Так же просто можно показать, что эти две метрики дают в итоге несовместимые классы конгруэнтных углов, хотя геометрии, связанные с ними, являются *одинаковыми*: евклидовы треугольники, равносторонние согласно новой метрике $d\bar{s}$, не будут равносторонними согласно обычной метрике ds , и, следовательно, все три угла такого треугольника будут конгруэнтны трем другим углам треугольника в прежней метрике, но не в новой.

Теперь ясно, что *произвольное* изменение дефиниции конгруэнтности, как таковое, либо для линейных отрезков, либо для углов, либо для тех и других не может гарантировать различных геометрий.

¹ См: D. J. St u i k, Differential Geometry, pp. 169—170.

2) В своем ответе на утверждение Гуго Динглера¹, что жесткое тело однозначным образом определяется геометрией и только ею, Рейхенбах ошибочно соглашается² с тем, что геометрия достаточна для того, чтобы определить конгруэнтность, и оспаривает только утверждение Динглера, что она является также необходимой³.

Карнап⁴ обсуждает зависимость между а) метрической геометрией, которую он обозначает символом R в этом немецком издании, б) топологией пространства (и фактами совпадений стержня в нем), которая обозначается символом T (Tatbestand — обстоятельства дела), и в) метрикой M (Masssetzung — введение меры), которая содержит дефиницию конгруэнтности и задается функцией f (и выбором единицы измерения), о чем уже говорилось в начале этой главы⁵. И делает вывод, что функциональные отношения между R , M и T таковы, что «если даны две из них, то тем самым дано и абсолютно однозначное определение третьей»⁶. В соответствии с этим

$$R = \Phi_1(M, T),$$

$$M = \Phi_2(R, T),$$

$$T = \Phi_3(M, R).$$

Несмотря на то что первая из этих зависимостей имеет силу, наш пример, когда с помощью каждой из двух несовместимых дефиниций конгруэнтности поверхности стола придавалась евклидова геометрия, показывает, что не только

¹ H. D i n g l e r, Die Rolle der Konvention in der Physik, «Physikalische Zeitschrift», Vol. XXIII (1922), S. 50.

² H. R e i c h e n b a c h, Discussion of Dingler's Paper, «Physikalische Zeitschrift», Vol. XXIII (1922), S. 52; H. R e i c h e n b a c h, Über die physikalischen Konsequenzen der relativistischen Axiomatik, «Zeitschrift für Physik», Vol. XXXIV (1925), S. 35.

³ В четвертой главе мы дадим оценку заслуг Рейхенбаха, который отрицал необходимость геометрии, обосновывая это тем, что жесткость может быть определена элиминированием дифференциальных сил.

⁴ R. C a r n a p, Der Raum, S. 54.

⁵ Хотя как карнапова метрика M , так и функция расстояния $ds = \sqrt{g_{ik} dx^i dx^k}$ могут обеспечить дефиницию конгруэнтности, их нельзя вывести дедуктивно друг из друга, если нет никакой информации относительно совпадений стержня в рассматриваемом пространстве.

⁶ R. C a r n a p, Der Raum, S. 54.

вторая, но также и третья зависимости Карнапа не имеют силы. Ибо одно только установление, исходя из M , следствия, что стержень будет повсюду называться конгруэнтным самому себе, и определение R как евклидовой еще не говорят о том, будут ли совпадения стержня T на поверхности стола именно такими, как если бы он совпадал с интервалами, равными, согласно формуле $ds^2 = dx^2 + dy^2$, или с иными интервалами, равными на основе одной из метризацій $ds^2 = \sec^2 \theta dx^2 + dy^2$ (где $\sec^2 \theta > 1$). Иными словами, установленная спецификация M и R не говорит нам о том, будет ли стержень вести себя именно так, как мы знаем о его поведении в действительности, или же он будет изгибаться любым из бесконечного множества способов по сравнению с его действительным поведением.

3) Как следствие нашего доказательства неоднозначности дефиниции конгруэнтности мы можем показать ошибочность следующего утверждения Рейхенбаха: «Если мы говорим, что геометрия G действительно применима, но измерения дают нам геометрию G' , мы в то же время определяем силу F , которая вызывает различие между G и G' »¹. Используя наши первоначальные обозначения отметим, во-первых, что вместо однозначного (вплоть до произвольной постоянной) определения метрического тензора g'_{ih} геометрия G определяет бесконечный класс α таких тензоров, которые отличаются друг от друга еще и тем, что они пропорциональны друг другу. Однако, поскольку $F_{ih} = g_{ih} - g'_{ih}$ (где g'_{ih} получаются с помощью стержней до того, как они «деформируются» какими-либо универсальными силами), неспособность G определить однозначным образом тензор g_{ih} (вплоть до произвольной постоянной) выражается в том, что универсальных сил F_{ih} будет столько, сколько будет различных тензоров g_{ih} в классе α , определяемом геометрией G . Мы видим, следовательно, что вопреки Рейхенбаху существует бесконечное множество различных способов, при которых измерительный стержень может оставаться «деформированным», обеспечивая в то же время одну и ту же геометрию G .

Эти критические замечания в адрес Рейхенбаха не могут повлиять существенным образом на весьма положительную

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 27.

оценку его вклада в философию геометрии. Однако, что касается логического анализа понятия пространства, как оно трактовалось со времени появления теории относительности Эйнштейна, эта оценка несколько отличается от следующего вывода, к которому пришел Хаттен. «К тому толкованию, которое имеет место, например, в книге Рейхенбаха, относительно философии пространства и времени, ничего нельзя добавить, за исключением некоторых изменений в терминологии»¹.

¹ E. H. H u t t e n, *The Language of Modern Physics*, London: George Allen and Unwin, and New York: The Macmillan Co., 1956, p. 110.

КРИТИКА ЭЙНШТЕЙНОВОЙ ФИЛОСОФИИ ГЕОМЕТРИИ

А. Рассмотрение Дюгемом фальсифицируемости
изолированной эмпирической гипотезы
и ее отношение к эйнштейновой концепции
взаимозависимости геометрии и физики

Поскольку центральный тезис Эйнштейна относительно эпистемологического статуса физической геометрии, как это будет показано в разделе В, является геометрической версией концепции Пьера Дюгема относительно возможности фальсификации изолированной эмпирической гипотезы, этот первый раздел будет посвящен критической проверке концепции Дюгема в том систематизированном виде, как она изложена Куайном.

Утверждения о том, что имеется существенная *асимметрия* между *верификацией* и *опровержением* той или иной теории в эмпирических науках, делались не только Дюгемом и Куайном, но и другими авторами. Говорят, что опровержение должно быть окончательным, или решающим, тогда как верификация неизбежно является неокончательной в следующем смысле: если теория T_1 содержит наблюдаемые следствия O , тогда *истинность* T_1 не следует дедуктивно из истинности конъюнкции

$$(T_1 \rightarrow O) \cdot O.$$

С другой стороны, *ошибочность* T_1 выводится дедуктивным путем *modus tollens* из истинности конъюнкции

$$(T_1 \rightarrow O) \cdot \sim O.$$

Так, Нортроп пишет: «Следовательно, мы оказываемся в следующей отчасти шоковой ситуации: метод, который естественные науки используют для проверки теорий, построенных с помощью аксиоматического метода... является абсолютно надежным, когда выдвигаемая теория не под-

тверждается, и логически недоказательным, когда теория подтверждается экспериментально»¹.

Сформулированный под влиянием Дюгема², этот тезис об асимметрии доказательности верификации и опровержения решительно отрицается следующими рассуждениями. Если T_1 обозначает некоторую индивидуальную, или *изолированную*, гипотезу H , верификация или опровержение которой представляет собой цель того или иного научного эксперимента, тогда формальная схема Норттропа слишком упрощена и приводит к ошибкам. Если учесть, что наблюдаемые следствия O выводятся не из одной только H , а из соединения H с соответствующей совокупностью *дополнительных* предположений A , то опровергаемость H оказывается отнюдь не более убедительной, чем ее верифицируемость. Ибо теперь очевидно, что формальную схему Норттропа следует заменить следующей схемой:

(i) $[(H \cdot A) \rightarrow O] \cdot O$ (верификация)

и

(ii) $[(H \cdot A) \rightarrow O] \cdot \sim O$ (опровержение).

Признание наличия дополнительных предположений A как при верификации, так и при опровержении H делает очевидным, что *опровержение самой H* с помощью *противоречащего* ей эмпирического доказательства $\sim O$ не может быть более решающим, чем ее *верификация* (подтверждение) *благоприятствующим* доказательством O . Из опровергающей посылки (ii) дедуктивным путем можно вывести не утверждение об ошибочности самой H , а только более слабое заключение, что H и A не могут одновременно быть истинными. Здесь не имеет значения, что *ошибочность конъюнкции H и A* может быть *дедуктивно* выведена из опровергающей предпосылки (ii), в то время как истинность этой конъюнкции может быть выведена только *индуктивно* из верифицирующей предпосылки (i). Это не умаляет того, что неубедительность опровержения самой H равноценна неубедительности ее верификации в следующем смысле: (ii) не содержит (дедуктивно) ложность H самой по себе,

¹ F. S. C. Northrop, *The Logic of the Sciences and the Humanities* (New York: The Macmillan Co., 1947), p. 146.

² Pierre Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory*, Princeton: Princeton University Press, 1954, Part II, Ch. vi, especially, pp. 183—190.

точно так же как (i) не содержит истинность H самой по себе. Короче говоря, опровергаемость отдельных гипотез, компонентов более общей теоретической системы не является сепаратной, они могут только не подтвердиться в данной ситуации. Ни одна гипотеза H , которая является составной частью такой системы, не может быть вырвана из сети всегда сопутствующих ей побочных предположений, с тем чтобы оказалось возможным сепаратное опровержение путем доказательства несостоятельности ее как части объясняющего (explanans) этих данных, точно так же как недостижима никакая изоляция и в процессе верификации. И схема Нортропа является адекватным выражением реальной логической ситуации только в том случае, если T_1 в его схеме относится к полной теоретической системе предпосылок, которые включаются в дедуктивный вывод O , а не только к компоненте H , как это имеет место при решении специфических научных проблем.

Под влиянием Дюгема, который подчеркивал необходимость очной ставки любой теоретической системы в целом с трибуналом доказательств, отдельные авторы, так же как и Куайн, выдвинули, как я понимаю, следующее утверждение: независимо от того, что определенное содержание O' *prima facie* дает неблагоприятствующее эмпирическое доказательство $\sim O$, мы всегда можем на законных основаниях говорить об истинности H как части теоретического объясняющего O' , имея в виду два обстоятельства: первое, возлагая ответственность за ложность O на ложность A , и на ложность H , и второе, модифицируя A таким образом, что конъюнкция H и пересмотренной версии A' предположений A содержит (объясняет) реальное наличие O' . Так, в своих «Двух догматах эмпиризма» («Two Dogmas of Empiricism») Куайн пишет: «Любое высказывание может во что бы то ни стало сохранять свою истинность, если мы сделаем достаточно решительную корректировку в каком-то ином разделе системы»¹. И одним из аргументов Куайна в этом вызывающем эссе, направленном на доказательство несостоятельности аналитико-синтетического различия, является утверждение, что относительно высказывания, предполагаемого синтетическим, не менее чем относительно

¹ W. V. O. Quine, From a Logical Point of View (2nd ed.; Cambridge: Harvard University Press, 1961), p. 43. См. также стр. 41, сноска 17.

высказывания, предполагаемого аналитическим, можно сказать, что оно является истинным «во что бы то ни стало», если опираться на положение Дюгема. В соответствии с этим мы будем рассматривать тезис Дюгема — Куайна, который в дальнейшем будем именовать *D*-тезисом, как тезис, в котором содержится следующая система утверждений: *существует некоторая индуктивная (эпистемологическая) взаимозависимость и нераздельность между H и дополнительными предположениями A* , и поэтому в физической теории имеется возможность для некоторого априорного выбора. Ибо ценой соответствующих компенсирующих модификаций в остальной части теории любая из составляющих ее гипотез *H* может быть сохранена перед лицом явно противоречащих ей эмпирических данных, как составная часть *объясняющего* именно этих данных. И эта квазиаприорная сохраняемость *H* санкционируется довольно широкой теоретической неопределенностью и текучестью логических ограничений, налагаемых наблюдательными данными¹.

В частном случае с физической геометрией Дюгем указывал на то, что физические законы, которые обычно корректируют (смысл этой корректировки будет подробно рассмотрен нами в разделе В) специфические субстанциальные искажения измерительного стержня, предполагающая геометрию, охватывают и законы оптики. И следовательно, он должен был *отрицать*, например, что осуществим один из двух следующих способов *независимой* проверки геометрии и оптики.

1. До и независимо от знания или предположения о геометрии мы находим, что законом оптики является утверждение, согласно которому путь светового луча совпадает с геодезическими линиями, чья конгруэнтность определяется твердыми телами.

Зная это, мы берем треугольники, составленные геодезическими (базовыми) линиями в солнечной системе, и све-

¹ P. Duhem, *The Aim and Structure of Physical Theory*, op. cit. Дюгем, который молчаливо отвергал как убедительную фальсифицируемость, так и решающую окончательную верифицируемость *объясняющего*, не согласился бы с истолкованием Поппером его точки зрения (К. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, p. 78). Поппер, являющийся сторонником убедительной фальсифицируемости (там же), неверно интерпретирует Дюгема, будто бы тот допускает, что проверка гипотезы может быть убедительной фальсификацией (опровержением), и отрицает только то, что она может быть окончательной верификацией.

товые лучи, идущие от звезд, которые связывают их концы с различными звездами, и используем их для определения системы геодезических линий, представленных жесткими телами: измерение звездного параллакса скажет нам, равна ли сумма углов треугольника 180° (евклидова геометрия), меньше ли 180° (гиперболическая геометрия) или больше чем 180° (сферическая геометрия).

Таким образом, если мы обнаружим, что сумма углов отличается от 180° , мы будем знать, что геометрия, в которой геодезические линии определяются движением жестких тел, неевклидова. Ибо в свете нашего предварительного независимого установления траектории световых лучей такой евклидов результат нельзя интерпретировать как следствие несовпадения оптических траекторий с геодезическими линиями, определяемыми жесткими телами.

2. До и независимо от знания или предположения о законах оптики мы устанавливаем, какая геометрия соответствует конгруэнтности жестких тел.

Зная это, мы находим затем, совпадают ли траектории световых лучей с геодезическими линиями, конгруэнтность которых устанавливается жесткими телами, путем измерения параллакса или какого-то иного определения суммы углов треугольника, составленного из световых лучей.

Поскольку геометрия геодезических линий, определяемых жесткими телами, известна независимо от оптики, мы знаем, чему должна быть равна соответствующая сумма углов треугольника, сторонами которого являются такие геодезические. И поэтому определение суммы углов треугольника, составленного световыми лучами, является в таком случае решающим для обнаружения, совпадают ли траектории световых лучей с геодезическими линиями, конгруэнтность которых устанавливается жесткими телами.

Вместо такой независимой подтверждаемости или фальсифицируемости геометрии и оптики Дюгем говорит об их индуктивной (эпистемологической) нераздельности и взаимозависимости.

В данной главе я попытаюсь обосновать два вывода:

1) формулировка Куайном тезиса Дюгема, который мы именуем *D*-тезисом, *верна* только в некотором *тривиальном* смысле, именуемом Куайном «достаточно решительной коррективкой в каком-то ином разделе системы». И вряд ли кто-нибудь пожелает оспаривать эту совершенно неинтересную версию *D*-тезиса;

2) в своей нетривиальной форме, которая представляет интерес, *D*-тезис является несостоятельным в следующих фундаментальных отношениях:

A. Логически *non sequitur* (не следует), ибо независимо от частной эмпирической ситуации, к которой относится гипотеза *H*, нет вообще никакой логической гарантии, что существует некоторое *искомое* множество *A'* исправленных дополнительных предположений, таких, что

$$(H \cdot A') \rightarrow O'$$

для любой из составляющих гипотез *H* и любого *O'*. Поскольку существование искомого множества *A'* не гарантируется логически, оно нуждается в *сепаратном* и *конкретном* доказательстве в каждом отдельном случае. Если куайновская неограниченная формулировка требования Дюгема не получает какой-либо эмпирической *поддержки*, она представляет собой неэмпирическую догму или догмат веры, который прагматист Куайн имеет право *поддерживать* не больше, чем любой эмпирик.

B. *D*-тезис не только *non sequitur*, но и на самом деле *ошибочен*, как это показывает важный контрпример, а именно сепаратная фальсифицируемость частной гипотезы *H* являющейся компонентой более широкой теории.

Из этих выводов 1) и 2) *A* будут обоснованы в данном разделе *A*, тогда как аргументы в поддержку 2) *B* будут рассмотрены в разделе *B*.

Чтобы избежать неверного понимания, необходимо подчеркнуть, что наше отрицание именно сильного утверждения, содержащегося в куайновском *D*-тезисе, вовсе не означает отказ от другого, гораздо более слабого утверждения, которое, с нашей точки зрения, звучит весьма выразительно: логика любого неподтверждения, равно как и любого подтверждения частной научной гипотезы *H*, такова, что она как бы *включает на той или иной стадии* всю систему взаимосвязанных с ней гипотез, где *H* является на каждой ступени не столько сепаратной гипотезой, сколько весьма существенным ингредиентом всей этой системы. Более того, нужно ясно отдавать себе отчет, что проблема, стоящая перед нами, является логической, и состоит она в том, можно ли без каких-либо ограничений добиваться сохранения в принципе любой *H* как компоненты с помощью соответствующих *A'*. И это вовсе не психологическая проблема, состоящая в том, обладает ли ученый достаточной

изобретательностью, чтобы при каждом изменении он мог бы предложить необходимую систему A' , если таковая существует. Конечно, если имеются случаи, где необходимая система A' просто не существует даже с логической точки зрения, тогда, несомненно, никакая изобретательность ученых не поможет им разыскать несуществующие, но необходимые системы A' .

I. Тривиальная справедливость D -тезиса

Можно сразу показать, что если Куайн не ограничивается весьма специальными способами, под которыми он подразумевает «достаточно решительную корректировку в каком-то ином разделе [теоретической] системы», то D -тезис представляет собой трюизм, который может произвести впечатление только на совершенно непросвещенного человека. Ибо если бы кто-нибудь выдвинул ошибочную эмпирическую гипотезу H , согласно которой «обычное пахтанье очень ядовито для человека», то эту гипотезу можно было бы спасти от опровержения перед лицом наблюдаемой полезности обычного пахтанья, сделав следующую «достаточно решительную» корректировку в нашей системе, а именно изменив в языке правила словоупотребления, с тем чтобы понятие, выражаемое термином «обычное пахтанье», обозначало бы то, что выражается термином «мышьяк» в его обычном употреблении. Следовательно, необходимым условием нетривиальности тезиса Дюгема является семантическая стабильность в соответствующем отношении языка теории.

Кроме того, очевидно, что если бы кто-то стал утверждать, что сам O' нужно квалифицировать как A' , то утверждение Дюгема относительно существования некоторой A' , такой, что

$$(H \cdot A') \rightarrow O',$$

оказалось бы тривиальной истиной, причем H вовсе не была бы необходимой для дедуктивного вывода O' . Далее, D -тезис может оставаться тривиальной истиной даже в тех случаях, когда H является необходимой как дополнение A' для выведения объясняемого (explanandum) O' : некоторые тривиальные A'

$$\sim H \vee O'$$

требуют H для дедуктивного вывода O' , однако никто не согласится с тем, что это дает какую-нибудь информацию, и не скажет, что D -тезис в такой формулировке является плодотворным.

Однако мы допускаем, что критика Куайном различия между аналитическими и синтетическими суждениями (Юм и Кант) требует только *тривиальной* правильности D -тезиса. Мы не в состоянии предложить формальное и вместе с тем *достаточно* общее условие *нетривиальности* A' . Насколько нам известно, ни автор, ни кто-либо из лиц, занимавшихся обсуждением D -тезиса, не говорили о необходимости описания класса дополнительных гипотез A' , пересмотр которых был бы *нетривиальным*, и тем самым D -тезис мог бы приобрести научное значение. Поэтому я могу предположить, что авторы, обсуждавшие проблему D -тезиса, хотя обосновать его или отвергнуть, опираясь на некоторую систему A' , которую мы все признали бы как *нетривиальную в любом данном случае*. Эту некоторую систему A' мы будем в дальнейшем обозначать A'_{nt} . Мы попытаемся доказать, что D -тезис и в этой *нетривиальной* форме является на самом деле несостоятельным. Но сначала мы прокомментируем попытку обосновать D -тезис, прибегая к *нестандартной логике*.

Эти разновидности решительной корректировки, когда обращаются к *нестандартной логике*, специально упоминались Куайном. Сославшись на такую гипотезу, как «на Элм-стрит есть кирпичные дома», он замечает, что даже это утверждение, «столь уместное в чувственном опыте... может сохранить силу перед лицом противоречащих ему переживаний с помощью защитной галлюцинации или внесения поправок в высказывания, которые именуются законами логики»¹. Мы не придаем значения аргументу, который ссылается на галлюцинации. При отсутствии *определенности* относительно того, как нужно было бы изменить законы логики, чтобы это позволило Куайну сохранить перед лицом противоречащих переживаний истинность такой H , которая однотипна с высказыванием «на Элм-стрит есть кирпичные дома», мы должны сделать следующий вывод: ссылка на нестандартную логику либо делает истинность D -тезиса *тривиальной*, либо превращает его в утверждение, которое хотя и представляет интерес, но все же является

¹ W. V. O. Quine, From Logical Point of View, p. 43.

необоснованной догмой. Так предположим, что нестандартная логика, которой хотят воспользоваться, является трехзначной. В таком случае, даже если бы в рамках такой логики во всех других отношениях можно было утверждать, что данное утверждение H является «истинным», сам термин «истинный» больше бы не имел значения, ассоциируемого с системой двухзначной логики, в рамках которой D -тезис был провозглашен с самого начала. Не следует также упускать из виду, что D -тезис в той его форме, которая разрешает ему опираться на изменение смысла термина «истинный», не менее тривиален *в свете тех надежд, которые возлагались на D -тезис*, чем та его форма, которая опирается на перемену названий мышьяка и пахтанья. И эта тривальность получается *в данной ситуации*, несмотря на то, что двухзначное и трехзначное употребление слова «истинный» разделяет судьбу того, что Патнэм обычно обозначает полезным термином «ядро значения»¹.

Так предположим, что мы имеем два отдельных вещества I_1 и I_2 — изомеры. Эти вещества составлены, так сказать, из одинаковых элементов в одинаковых пропорциях и обладают одинаковым молекулярным весом, однако расположение атомов в их молекулах разное. Предположим далее, что I_1 совсем не токсично, тогда как I_2 обладает высокой токсичностью, например в случае с двумя изомерами тринитробензола². В таком случае, если бы мы стали называть I_1 «дуквином» и утверждали бы, что «дуквин весьма токсичен», это утверждение H можно было бы столь же тривиальным образом спасти от опровержения перед лицом доказательства полезности I_1 , только *частично* изменив смысл термина «дуквин», с тем чтобы его интенционалом явился второй высокотоксичный изомер I_2 , оставляя при этом химическое «ядро значения» понятия «дуквин» неизменным. Чтобы пре-

¹ Н. Рутнам, Three-Valued Logic, «Philosophical Studies», Vol. VIII (1957), p. 74.

² Н. Л. Александер, Reactions With Drug Therapy (Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1955), p. 14. Александер пишет: «Верно, что лекарства, характеризуемые очень схожими химическими структурами, не всегда ведут себя в химическом отношении одинаково. Так, антигенность простых химических составляющих можно изменить путем легкой перестройки молекулярных структур... 1,2,4-тринитробензол... является чрезвычайно антигенным соединением... 1,3,5-тринитробензол является в аллергическом отношении инертным». (Я весьма признателен д-ру Брауде за эту ссылку.)

дотвратить *ошибочное понимание*, будто бы наше обвинение в тривиальности повторяет здесь ошибку тезиса тривиальности Эддингтона — Патнэма (см. главу первую, раздел Г), попытаемся изложить более точно, что мы рассматриваем в этой ситуации как тривиальное. Защита H от опровержения перед лицом противоречащих ей доказательств с помощью *частичного* изменения значения термина «дуквин» является тривиальной в том смысле, что она представляет собой только *тривиальное осуществление надежд, которые возлагались на D-тезис*. Однако, на наш взгляд, сама возможность, как таковая, сохранения H с помощью этого частного приема замены значения вовсе не является тривиальной. Ибо эта возможность отражает *факт, имеющий место в реальном мире*, — существование веществ — изомеров, радикально отличающихся друг от друга по степени токсичности (аллергичности)!

Даже если игнорировать изменения в значении слова «истина», свойственные трехзначной логике, к помощи которой обращаются, нет никаких оснований полагать, что можно успешно отстаивать D -тезис в такой измененной логической системе. Аргументы, которые мы выдвигаем против D -тезиса в его *нетривиальной* формулировке в рамках стандартной логики, столь же справедливы, насколько мы можем судить, и в трехзначной и в любой другой нестандартной логике из тех, которые нам известны. И если ответ состоит в том, что имеются еще и другие нестандартные логики, которые, с одной стороны, могут служить целям науки, а с другой — к ним неприменима наша последующая полемика против D -тезиса в его *нетривиальной* форме, то на это мы дадим следующий ответ: в таком случае утверждение Куайна о выполнимости изменений в законах логики, которые позволили бы сохранить справедливость D -тезиса, представляет собой неэмпирическую догму или, еще лучше, долговое обязательство. И до тех пор, пока не представлены необходимые пояснения, никто не имеет права выдавать этот вексель.

II. Несостоятельность D -тезиса в его нетривиальной форме

D -тезис в *нетривиальной* форме, как мы сейчас увидим, *pop sequitur*. В такой форме D -тезис утверждает, что для каждой гипотезы H , которая представляет собой компонен-

ту какой-либо области эмпирического знания, и для любых наблюдательных данных O'

$$\cdot (\exists A'_{nt}) [(H \cdot A'_{nt}) \rightarrow O'].$$

Но это требование не следует из того, что ошибочность H невыводима дедуктивно из предпосылки

$$[(H \cdot A) \rightarrow O] \cdot \sim O,$$

которую мы будем называть предпосылкой (ii), как и в начале данного раздела А. Ибо последняя предпосылка использует не полную эмпирическую информацию, которую дает O' , а только часть этой информации, говорящую о том, что O' логически несовместимо с O .

Так, например, O' могло бы быть истинным утверждением о том, что амперметр показывает 10 ампер, тогда как O говорило бы о том, что его показания равны 3. Ясно, что O' утверждает нечто большее, чем $\sim O$, поскольку, O' подразумевает $\sim O$, но не наоборот. H в конъюнкции с A'_{nt} должна разрешать дедуктивный вывод о том, что ток в амперах равен 10, а не только дедуктивный вывод более слабого требования, что он не равен 3. Следовательно, если из $\sim O$ нельзя сделать дедуктивный вывод о том, справедлива ли $\sim H$, это еще не оправдывает утверждения, выдвигаемого D -тезисом, что всегда существуют нетривиальные A' , такие, что конъюнкция H и этих A' содержит O' . Иначе говоря, если ошибочность H нельзя вывести (с помощью *modus tollens*) из предпосылки (ii), то отсюда еще не следует, что H может быть сохранена нетривиальным образом как часть *объясняющего* любых потенциальных эмпирических данных O' . Поэтому на основании только что данного анализа мы приходим к выводу, что и в нетривиальной форме D -тезис Куайна является *необоснованным* и что существование требуемого нетривиального A' нуждается в *сепаратном* доказательстве для каждого частного случая.

С другой стороны, от H можно требовать, чтобы она была *сепаратно фальсифицируемой*, как объясняющее O' , только доказав, что не существует никакой эмпирической истинной A'_{nt} , которая позволила бы H объяснить реальные O' .

Б. Взаимозависимость геометрии и физики в конвенционализме Пуанкаре

В литературе, посвященной рассмотрению взаимозависимости геометрии и физики, обнаруживается повсеместное смещение двух весьма различных в логическом отношении видов взаимозависимости, которые можно соответственно связать с эпистемологическим холизмом Дюгема и конвенционализмом Пуанкаре: *индуктивная (эпистемологическая)* взаимозависимость и собственно *лингвистическая*. Различие между этими двумя видами взаимозависимости по праву достойно внимания и имеет существенное значение для критической оценки концепции Эйнштейна, которой будет посвящен раздел В.

В данном разделе мы рассмотрим различие между точками зрения Дюгема и Пуанкаре, равно как и некоторые связанные с ними вопросы, имеющие отношение к интерпретации точки зрения Пуанкаре.

Как мы видели в разделе В первой главы, центральной темой так называемого конвенционализма Пуанкаре является, по существу, развитие тезиса о возможности введения иной метрики, фундаментальному установлению которого мы обязаны Риману. Часто цитируемое и обычно неправильно толкуемое утверждение Пуанкаре относительно возможности всегда выразить показания измерений звездных параллаксов в евклидовом описании выглядит следующим образом.

Если правильна геометрия Лобачевского, то параллакс очень удаленной звезды будет конечным; если правильна геометрия Римана, он будет отрицательным.

Эти результаты, по-видимому, допускают опытную проверку, некоторые надеются, что астрономические наблюдения могли бы решить выбор между тремя геометриями.

Но то, что в астрономии называется прямой линией, есть просто траектория светового луча. Если, следовательно, сверх ожидания удалось бы открыть отрицательные параллаксы или доказать, что все параллаксы больше известного предела, то представлялся бы выбор между двумя заключениями: мы могли бы или отказаться от евклидовой геометрии, или изменить законы оптики и допустить, что свет распространяется не в точности по прямой линии. Бесплезно добавлять, что всякий счел бы второе решение более удобным.

Таким образом, евклидовой геометрии нечего опасаться новых опытов¹.

¹ А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр. 85—86.

В контексте этого параграфа¹ становится совершенно ясным, что Пуанкаре ссылается на случай, где важную роль играет наблюдение, а именно на случай с треугольником, составленным световыми лучами звезд, для объяснения того, что если это будет нужно, сохранение евклидова описания за счет введения иной метрики представляет собой подлинно реальный выбор. Следовательно, его оценка значения измерений звездного параллакса для установления геометрической метрики физического пространства представляет собой то же самое, что и следующее, хотя и не совсем понятное, но довольно авторитетное утверждение.

В пространстве мы знаем прямолинейные треугольники, сумма углов которых равна двум прямым, но мы знаем также криволинейные треугольники, сумма углов которых меньше двух прямых... Дать сторонам первых название прямых—значит принять евклидову геометрию; дать сторонам последних название прямых—значит принять неевклидову геометрию, так что вопрос, какую геометрию следует принять, равносильен вопросу: какой линии следует дать название прямой?

Очевидно, что опыт не может разрешить подобного вопроса²...

Итак, эквивалентность этого последнего утверждения точке зрения Римана на конгруэнтность становится очевидной в тот момент, когда мы замечаем, что законность отождествления линий, которые являются кривыми на обычном геометрическом языке, с «прямыми» вытекает из нашего права выбрать новое определение конгруэнтности, с тем чтобы прежние кривые стали геодезическими линиями при новом определении конгруэнтности.

И мы замечаем, что поскольку *первые* геодезические линии пространства служат примером формальных отношений между евклидовыми «прямыми линиями», постольку и *другие* геодезические, ассоциируемые с новой метризацией, олицетворяют отношение, которое предписывают прямым линиям формальные постулаты *гиперболической* геометрии. Понимание того, что Пуанкаре начинает приведенный отрывок со слов «в [физическом] пространстве», позволяет нам увидеть, что он имеет в виду следующее. Одна и та же *физическая* поверхность, или область трехмерного *физического* пространства, допускает описание ее с помощью *различных* метрик, и это приводит к физической реализации формальных постулатов либо евклидовой геометрии, либо

¹ А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр. 85—90.

² А. Пуанкаре, Ценность науки, М., 1906, стр. 43—44.

одного из неевклидовых абстрактных исчислений. Конечно, в синтаксическом отношении это допущение различных метрик подразумевает возможность взаимного перевода *соответствующих разделов* этих несовместимых геометрических исчислений; «возможность взаимного перевода» гарантируется «словарем», состоящим из пар *различных наименований* (или описаний) каждой физической траектории, или конфигурации.

Так, модель Клейна гиперболической геометрии, которая обсуждается ниже в этой главе, обеспечивает двойниками на языке плоскости циклической геометрии только те куски плоскости циклической геометрии, которые принадлежат к внутренней области круга. Однако существенное соображение, которое высказывает здесь Пуанкаре, состоит не в том, что имеется чисто формальная переводимость. Напротив, Пуанкаре подчеркивает здесь, что данная физическая поверхность, или область физического трехмерного пространства, может, конечно, представлять собой модель одного из неевклидовых геометрических исчислений в такой же степени, как и модель евклидова исчисления. Поэтому в данном смысле можно сказать, что Пуанкаре утверждает конвенциональный, или дефиниционный, статус прикладной геометрии.

Следовательно, мы должны отвергнуть следующую всецело синтаксическую интерпретацию приведенной выше цитаты из Пуанкаре, предложенную Эрнстом Нагелем: «Тезис, который он [Пуанкаре] устанавливает с помощью этого аргумента, состоит просто в том, что выбор совокупности условных знаков при формулировании системы чистой геометрии представляет собой конвенцию»¹. Ошибочно интерпретировав конвенционалистский тезис Пуанкаре таким образом, что он якобы относится только к формальной взаимной переводимости, Нагель не смог увидеть, что признание Пуанкаре конвенционального характера физической или *прикладной*, геометрии означает не что иное, как утверждение *о возможности различных метрик физического пространства* (или его частей). Поэтому Нагель и приходит к следующей необоснованной интерпретации концепции Пуанкаре относительно статуса прикладной (физической) геометрии: «Пуанкаре, следовательно выступает за дефиниционный статус как *прикладной*, так и *чистой* геометрии.

¹ E. Nagel, The Structure of Science, p. 261.

Он утверждает, что даже когда дана интерпретация основных терминов чистой геометрии, так что система затем превращается в утверждение относительно определенных физических конфигураций (например, интерпретация «прямой линии» как обозначения траектории светового луча), никакие эксперименты в области физической геометрии никогда не могут вынести решения против одной из различных систем физической геометрии и в пользу другой»¹. Однако Пуанкаре отнюдь не утверждает, что геометрия остается конвенциональной даже *после* того, как чистой геометрии дается частная физическая интерпретация. Он только повторяет следующий тезис о возможности различных метрик, содержащийся в отрывке, который затем цитирует Нагель²: с помощью соответствующих семантических интерпретаций термина «конгруэнтный» (для линейных отрезков и/или для углов) и соответственно термина «прямая линия» и т. д. легко можно доказать, что они подчиняются ограничениям, налагаемым топологией, всегда можно сделать реальный выбор *либо* евклидова, *либо* неевклидова описания данного множества *физико-геометрических фактов*. И поскольку установление различных метрик столь же законно с философской точки зрения, как и установление различных систем единиц длины или температуры, всегда в принципе можно так *переформулировать* любую физическую теорию, основанную на данной метрике пространства, или, как мы видели выше во второй главе, времени, чтобы обосновать ее с помощью другой метрик.

Поэтому вообще нет никаких оснований для предостережения, высказанного Нагелем относительно возможности простой переформулировки физической теории путем введения новой метрики: «...даже если мы допустим для оправдания Евклида, что существуют универсальные силы... то мы должны включить предположение об универсальных силах и в остальную часть нашей физической теории, а не вводить такие силы по частям после каждой наблюдаемой «деформации» тел. Однако представляется отнюдь не самоочевидным, что на самом деле физические теории всегда могут быть придуманы так, что в них можно ввести основания для таких универсальных сил»³. Но именно этот факт

¹ E. Nagel, *The Structure of Science*, p. 261.

² *Ibid.*, pp. 261—262.

³ *Ibid.*, pp. 264—265.

и является самоочевидным, и его самоочевидность затушевывается логическим хаосом, порождаемым утверждением об изменении метрики, которое в евклидовой геометрии выражается термином «универсальные силы». Так, именно эта метафора, по-видимому, и привела Нагеля к ошибочному утверждению об *эмпирическом* статусе гипотезы об использовании *нестандартной* метрики пространства. Это, видимо, случилось только потому, что эта последняя метрика описывается словами «предположим, что имеются соответствующие универсальные силы». Действительно, как показано нами во второй главе, в случае одномерного времени, чтобы обеспечить изменение метрики, задаваемое $T = f(t)$, которое можно описать метафорически высказыванием, что все часы «ускоряются универсальными силами», ньютонова механика должна получить новое математическое выражение с помощью соответствующих уравнений преобразования, таких, например, как уравнение (4), которое приведено там.

Подобные замечания имеют смысл и в отношении утверждения Пуанкаре, что мы всегда можем сохранить евклидову геометрию, несмотря ни на какие данные, полученные при измерении параллакса звезд: если при обычном определении конгруэнтности траектории световых лучей представляют собой геодезические, каковыми они на самом деле и являются в методе Шварцшильда, на который ссылается Робертсон¹. И если при таком выборе метрики траектории световых лучей, найденные с помощью измерения параллаксов, характеризуются неевклидовыми отношениями, то нам достаточно только выбрать иное определение конгруэнтности, чтобы эти же самые траектории более не были геодезическими и чтобы геодезические вновь выбранной конгруэнции характеризовались евклидовыми отношениями. С точки зрения синтетической геометрии последний выбор влияет лишь на *введение новых наименований* для оптических и других траекторий и, таким образом, представляет собой только *пересказ того же самого фактуального содержания на евклидовом языке, а не пересмотр внелингвистического содержания оптических и других законов*. Сохраняемость евклидовости с помощью введения новой метрики, о которой говорит Пуанкаре, *подразумевает поэтому только*

¹ H. P. Robertson, *Geometry as a Branch of Physics*, «Albert Einstein: Philosopher-Scientist», pp. 324—325.

лингвистическую взаимозависимость геометрической теории жестких тел и оптической теории световых лучей.

Ибо требование сохранить евклидову геометрию вопреки данным, полученным при измерении параллакса звезд, является требованием так изменить язык оптики, чтобы в результате получилось евклидово описание. Необходимые лингвистические изменения были бы следствием соответствующего переименования оптических и других траекторий, а также углов. И поскольку здесь Пуанкаре выставляет требование непосредственной разработки метрики аморфности непрерывного пространственного многообразия, совершенно неясно, на каких основаниях Робертсон¹ рассматривает это утверждение Пуанкаре как «папскую буллу» и даже отвергает его якобы по причине противоречия с тем, что он называет «здоровым операциональным подходом [Шварцшильда] к проблеме физической геометрии». Ибо Шварцшильд сделал фактуальным вопрос относительно преимущественной геометрии только после того, как дополнительно ввел частную метрику пространства, основанную на времени прохождения света, что на самом деле превратило прямые световые траектории его астрономических треугольников в геодезические линии².

Интерпретация Пуанкаре определения геометрии звездных треугольников с помощью измерения параллаксов затемняется также высказыванием о ней Эрнста Нагеля. Помимо затруднений, связанных с метафорическим использованием термина «универсальные силы», Нагелю не удалось выяснить то, что недоумение, вызванное высказыванием относительно сохранения евклидовой геометрии, обусловлено, во-первых, тем, что при введении *обычной* метрики линейных отрезков и углов отрицается *геодезичность* (*прямолинейность*) оптических траекторий, которые устанавливаются с помощью измерения параллаксов и которые испы-

¹ Н. Р. Robertson, *Geometry as a Branch of Physics*, pp. 324—325.

² Так, очень полезный разбор астрономических методов, применяемых для определения геометрии физического пространства в большом масштабе, дан в: «Albert Einstein: Philosopher-Scientist», pp. 323—325, 330—332; Max Jammer, *Concepts of Space* (Cambridge: Harvard University Press, 1954), pp. 147—148; William A. Baum, *Photoelectric Test of World Models*, «Science», Vol. CXXXIV (1961), p. 1426; Allan Sandage, *Travel Time for Light from Distant Galaxies Related to the Riemannian Curvature of the Universe*, «Science», Vol. CXXXIV (1961), p. 1434.

тывают неевклидовы отношения, или по крайней мере отрицается обычная конгруэнтность углов (см. главу третью, раздел Б)¹, и, во-вторых, возможность обеспечить соответствующую иную метрику, при которой геодезические являются траекториями, характеризуется формальными отношениями евклидовых прямых. Так, Нагель, характеризуя возможность сохранения евклидовой геометрии, приходит к выводу, что это сохранение якобы основывается «только на утверждении, что стороны звездных треугольников не являются на самом деле евклидовыми [sic] прямыми линиями, и поэтому он [представитель евклидовой геометрии] выдвигает дополнительную гипотезу о том, что оптические траектории деформируются некоторым полем сил»². Однако, помимо неясности понятия деформации оптических траекторий, неудачно включенного в это высказывание Нагеля, слово «евклидовый» затушевывает именно то положение, которое защитник Евклида намеревается привести в данной ситуации в пользу своего тезиса. И это положение состоит вовсе не в том, как полагает Нагель, что оптические траектории не являются на самом деле *евклидовыми* прямыми линиями. Признание этого факта (при предположении обычной конгруэнтности углов) является исходной точкой дискуссии. Напротив, сторонник Евклида должен был бы здесь указать на то, что законность введения иной метрики позволяет ему предложить такую метрику, при которой оптические траектории с самого начала *не* квалифицируются как геодезические (прямые). Ибо, только отрицая вообще, что оптические траектории являются *геодезическими*, сторонник Евклида мог бы успешно защитить

¹ При предполагаемых условиях, поскольку дело касается нахождения параллаксов, введение новой метрики, возможно, позволит допустить оптические траектории, которые можно интерпретировать как геодезические линии, характеризующиеся евклидовыми отношениями, но только если будет отброшена и соответствующим образом изменена обычная конгруэнтность углов, что и является частью процедуры изменения метрики (см. главу третью, раздел Б). В этом случае траектории световых лучей были бы прямыми линиями *даже в евклидовом описании*, полученном с помощью введения новой метрики, но оптические законы, в которых используются такие углы, должны быть соответствующим образом изменены. О теоремах, которым подчиняется так называемое «геодезическое соответствие» и которые имеют отношение к данной проблеме, см.: L. P. Eisenhart, *An Introduction to Differential Geometry*, Sec. 37, pp. 205—211; D. J. Struik, *Differential Geometry*, pp. 177—180.

² E. Nagel, *The Structure of Science*, p. 263.

свой тезис перед лицом *prima facie* неевклидовых данных, полученных при измерении параллаксов.

Провозглашение конвенционального характера конгруэнтности с целью обеспечения возможности введения иной метрики вовсе не свойственно одному лишь Пуанкаре. Так, например, относительно непротиворечивое доказательство Клейном гиперболической геометрии с помощью модели, представляющей внутреннюю область круга на евклидовой плоскости¹, основывается на своеобразной возможности изменения метрики части круга на этой плоскости. Здесь эвристическую роль сыграла проективная геометрия, которая позволила Клейну путем дедукции вывести соответствующую конгруэнтность. Таким образом, то, что с точки зрения синтетической геометрии является взаимной переводимостью с помощью словаря, с точки зрения дифференциальной геометрии представляет собой возможность введения иной метрики.

Однако в этой связи следует отметить, что точка зрения Пуанкаре открыта для критики в двух следующих отношениях.

Во-первых, он утверждает², что сохранению евклидовой геометрии всегда будет отдано предпочтение даже в том случае, когда это сохранение достигается ценой введения иной метрики, которая усложняет геометрию в аналитическом отношении³. Как хорошо известно, в общей теории относительности развитие пошло именно в противоположном направлении: Эйнштейн отказался от простоты геометрии самой по себе в интересах возможности введения максимально простой дефиниции конгруэнтности. В своей фундаментальной статье 1916 года он ясно заявил, что если бы он настаивал на сохранении евклидовой геометрии в гравитационном поле, он не смог бы рассматривать в качестве реализации одного и того же отрезка «... один и тот же стержень в разных местах и в разных положениях»⁴.

Во-вторых, даже если бы простота самой геометрии была единственным детерминантом при ее выборе, эту простоту можно было бы оценить не с помощью аналитических соображений, как предлагает Пуанкаре, а пользуясь другими

¹ R. В о п о л а, Non-Euclidean Geometry, pp. 164—175.

² А. Пу а н к а р е, Наука и гипотеза, стр. 86.

³ Там же, стр. 61.

⁴ А. Э й н ш т е й н, Основы общей теории относительности, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 502.

критериями, такими, например, как простота неопределяемых понятий, которые в ней используются.

Однако, если бы Пуанкаре сегодня был жив, он мог бы сослаться на интересный пример, когда на алтарь максимальной простоты окончательной теории была принесена в жертву простота и доступность стандарта конгруэнтности. Недавно астрономы внесли предложение изменить метрику временного континуума, руководствуясь следующими соображениями. Как мы отмечали во второй главе, если в качестве стандарта временной конгруэнтности используется средняя солнечная секунда, представляющая собой очень точно известную часть периода вращения Земли вокруг своей оси, то между данными, которые предсказываются обычно теорией небесной механики, и фактически наблюдаемыми возникают расхождения трех видов. Таким образом, эмпирические факты ставят перед астрономами следующий выбор: либо они сохраняют довольно естественный стандарт временной конгруэнтности за счет приведения принципов небесной механики в соответствие с наблюдаемыми фактами, изменив их соответствующим образом, либо они изменят метрику временного континуума, применив менее простую дефиницию конгруэнтности с тем, чтобы сохранить эти принципы неизменными. Решения, принятые несколько лет тому назад астрономами, были прямо противоположны выбору Эйнштейном пространственной геометрии в 1916 году, когда речь шла о выборе между простотой стандарта конгруэнтности и простотой вытекающей из него теории. Средняя солнечная секунда должна быть заменена единицей, к которой она соотносится нелинейно, а именно звездным годом, представляющим собой период обращения Земли вокруг Солнца, где принимаются во внимание неравномерности, возникающие благодаря гравитационному влиянию других планет¹.

Мы видим, что выполнение требования описательной простоты при построении теории может принимать различные формы, поскольку согласование астрономической теории с имеющимися в нашем распоряжении очевидными данными достижимо путем ревизии либо дефиниции временной конгруэнтности, либо постулатов небесной механики. Наличие подобной альтернативы говорит также и о том, что в случае аксиоматизированной физической теории, включающей в се-

¹ G. M. C l e m e n s e, Time and its Measurement, op. cit.

бя геохронометрию, противопоставление постулатов теории, как эмпирически обоснованных, *дефинициям конгруэнтности*, как полностью априорным, или наоборот, *не имеет смысла*. Этот вывод подтверждает с точки зрения геохронометрии высказывание Брейтвейта¹ о том, что невозможность для аксиоматизированной физической теории, уступающая предписанию Генриха Герца, «проводить точное и резкое различие между элементами... которые возникают из мысленной необходимости, из опыта и из произвольного выбора, имеет глубокий смысл»². Именно это положение и иллюстрируется возможностью охарактеризовать действительное новаторство отказа Эйнштейна в общей теории относительности от евклидовой геометрии в пользу геометрии Римана, причем этот отказ может быть осуществлен следующими различными способами:

1) При использовании обычного определения пространственной конгруэнтности геометрия вблизи Солнца будет неевклидовой вопреки утверждениям физики до создания общей теории относительности.

2) Геометрия вблизи Солнца является неевклидовой, если принимается обычная дефиниция конгруэнтности, однако она является евклидовой при соответствующем изменении дефиниции конгруэнтности, которое делает длину стержня точно установленной функцией его положения и ориентации³.

3) В рамках требования дать евклидово описание неклассических фактов, постулируемых общей теорией относительности, Эйнштейн осознал фактуально диктуемую необходимость отказа от обычной дефиниции конгруэнтности, которая вела к евклидову описанию фактов, предполагавшихся классической теорией. Таким образом, ревизия теории Ньютона стала необходимой благодаря тому, что была открыта возможность формулирования теории относительности либо путем изменения постулатов геометрической теории, либо путем изменения соответствующих правил конгруэнтности.

¹ R. B. B r a i t h w a i t e, *Axiomatizing a Scientific System by Axioms in the Form of Identification*, в: «*The Axiomatic Method*», ed. by L. Henkin, P. Suppes, and A. Tarski (Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1959), pp. 429—442.

² H. H e r t z, *The Principles of Mechanics*, New York: Dover Publications, 1956, p. 8.

³ Эта функция приводится в книге Карнапа «*Пространство*» (см. R. S a r n a p, *Der Raum*, S. 58).

Убедившись в том, что сохранение евклидовой или какой-либо иной частной геометрии с помощью введения новой метрики подразумевает только лингвистическую взаимозависимость геометрической теории жестких тел и оптической теории световых лучей, мы получаем возможность сопоставить эту взаимозависимость с совершенно иной эпистемологической (индуктивной) взаимозависимостью, о которой говорит Дюгем.

Концепция Дюгема видит возможность иных геометрических оценок некоторой совокупности данных отчасти в том, что эти геометрии ассоциируются с иной фактуально неэквивалентной системой физических законов, которая применяется для того, чтобы вычислить поправки на специфические деформации субстанции¹. Пуанкаре² же вместо ссылок на индуктивную свободу, о которой идет речь у Дюгема, специально подчеркивает, что возможность либо евклидова, либо неевклидова описания одних и тех же пространственно-физических фактов вытекает из допустимости различных метрик совершенно независимо от каких-либо соображений о влиянии специфических деформаций субстанции даже после того, как они будут учтены тем или иным способом. Он говорит: «Без сомнения, в нашем мире реальные твердые тела... испытывают изменения формы и объема вследствие нагревания и охлаждения. Но мы, устанавливая основы геометрии, пренебрегаем этими изменениями, так как, помимо того, что они крайне незначительны, они еще и неправильны и, следовательно, кажутся нам случайными»³. В целях большей конкретности мы будем сравнивать точки зрения Пуанкаре и Дюгема применительно к возможности различных геометрических интерпретаций данных, полученных при измерении параллакса звезд.

Попытка объяснить данные по измерению параллакса исходя из того, что сумма углов треугольника, образованного световыми лучами звезд, меньше 180° , как это следует из различных геометрий, наличие которых обеспечивает возможность реального выбора в индуктивном смысле Дюгема, привела бы к некоторой альтернативе между двумя теоретическими системами. Эти данные допускают индуктив-

¹ Относительно того, как фактуально неэквивалентные поправочные физические законы связаны с геометриями, характеризующимися различными метриками, более подробно будет сказано в разделе В этой главы.

² А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр. 72—84.

³ Там же, стр. 78.

ный простор в том смысле, который подчеркивал Дюгем, ибо неопределенность относительно сепаратной справедливости поправочных физических законов способствует неопределенности относительно того, какие пространственные траектории являются действительно геодезическими, и эта неопределенность в свою очередь *допускает*, что оптические траектории являются немного негеодезическими («искривленными») в малом и заметно негеодезическими в большом. Следовательно, имеется индуктивный простор для постулирования какой-либо из следующих двух теоретических систем для объяснения наблюдаемого факта, что треугольники, составленные из световых лучей звезд, имеют сумму углов меньше 180° .

- а) G_E : геометрия, геодезическими линиями которой являются жесткие тела, евклидова;
- O_1 : траектории световых лучей не совпадают с этими геодезическими, и сумма углов треугольников, образованных световыми лучами, зависит от их площади и меньше 180° .

Или

- б) $G_{не-E}$: геодезические линии, выражающие конгруэнтность жестких тел, представляют собой неевклидову систему гиперболической геометрии;
- O_2 : траектории световых лучей совпадают с этими геодезическими, и, следовательно, треугольники, образованные световыми лучами, являются неевклидовыми треугольниками гиперболической геометрии.

Чтобы сопоставить концепцию Дюгема относительно возможности различных геометрических интерпретаций предполагаемых данных по измерению параллаксов с концепцией Пуанкаре, мы подчеркнем еще раз, что различные физические интерпретации, связанные с введением двух (или более) различных метрик *в смысле Пуанкаре*, имеют абсолютно тождественное во всех отношениях фактуальное содержание точно так же, как существует соответствие между двумя системами оптических законов. Ибо введение различных метрик в смысле Пуанкаре оказывает влияние только на язык, с помощью которого описываются факты оптики и совпадение жестких тел при перемещении: два геометрических описания, соответственно связанные с наличием разных метрик, являются *различными отображениями одно-*

го и того же фактуального содержания, и точно так же существуют две системы оптических законов, которые соответствуют этим геометриям. Следовательно, мы утверждаем, что Пуанкаре говорит о лингвистической взаимозависимости геометрической теории жестких тел и оптической теории световых лучей; напротив, с точки зрения Дюгема, G_E и $G_{не-E}$ не только различны по фактуальному содержанию, но и логически несовместимы. Это же имеет силу и относительно O_1 и O_2 , хотя как O_1 , так и O_2 требуют, чтобы треугольники, образованные световыми лучами, имели сумму углов меньше 180° . Мы видели в разделе А этой главы, что, согласно последней концепции, тождество фактуального содержания в отношении к предполагаемым данным по измерению параллакса имеется только между комбинированными системами, составляемыми с помощью двух конъюнкций (G_E и O_1) и ($G_{не-E}$ и O_2)¹. Таким образом, необходимость комбинировать системы G и O для согласования с эмпирическими фактами совместно с открыто признаваемой эпистемологической (индуктивной) неразрывностью G и O приводит сторонников Дюгема к выводу о том, что взаимная зависимость геометрии и оптики является индуктивной (эпистемологической).

Следовательно, Дюгем дает такое индуктивное истолкование взаимной зависимости G и O , согласно которому геометрия сама по себе не связана с эмпирической проверкой, тогда как в концепции Пуанкаре их взаимозависимость допускает некоторую эмпирическую детерминацию самой G в том случае, если мы отказались от введения иной метрики, где длина стержня должна меняться в зависимости от его положения и ориентации. Это не означает, конечно, что Дюгем рассматривал введение иной метрики как незаконную операцию.

По-видимому, именно обсуждение Пуанкаре взаимозависимости оптики и геометрии, где он ссылаясь на измерения звездных параллаксов, ввели в заблуждение многих авторов, таких, как Эйнштейн², Эддингтон³ и Нагель⁴,

¹ Однако эти комбинированные системы не имеют одинакового всеохватывающего фактуального содержания.

² А. Эйнштейн, Геометрия и опыт, «Собрание научных трудов», т. II, стр. 86; «Замечания к статьям», там же, т. IV, стр. 294—315.

³ А. Эддингтон, Пространство, время и тяготение, стр. 9—10.

⁴ E. Nagel, The Structure of Science, p. 262.

которые рассматривали его как сторонника тезиса Дюгема. Иллюстрацией широко распространенного соединения лингвистической и индуктивной взаимозависимости геометрии и физики (оптики) может служить обсуждение Sommerwilом того, что он называет «неразрывным переплетением пространства и материи». Он говорит:

«Порочный круг»... возникает в связи с попытками астрономически определить природу пространства. Эти эксперименты основываются на существующих законах астрономии и оптики, которые в свою очередь основаны на предположениях евклидовой геометрии. Тогда вполне допустимо, что наблюдаемое отклонение суммы углов треугольника можно было бы объяснить при помощи некоторой модификации этих законов, и даже отсутствие каких-либо отклонений можно было бы совместить с предположениями о неевклидовости геометрии.

Затем Sommerwil приводит следующее утверждение Брода:

Всякое измерение связано как с физическими, так и с геометрическими предположениями, а две вещи — пространство и материя — не даны раздельно, но анализируются на основе простого опыта. Подчиняясь общему условию, согласно которому пространство должно быть неизменным, а материя — перемещаться в пространстве, мы можем по-разному объяснить одни и те же наблюдаемые результаты, вводя компенсирующие изменения в те свойства, которые мы приписываем пространству, и в свойства, приписываемые нами материи. Поэтому с теоретической точки зрения нельзя, видимо, решить с помощью какого-либо эксперимента, какие свойства являются свойствами одного из них, а какие — свойствами другого.

И Sommerwil здесь же комментирует утверждение Брода следующим образом:

Именно исходя из этого, Пуанкаре утверждает, что вопрос, «какая геометрия является истинной», по существу, неуместен. С его точки зрения, это только вопрос конвенции. Наиболее простым описанием фактов является и всегда будет евклидово описание, но эти факты могут быть также описаны с точки зрения неевклидовой гипотезы при условии соответствующей модификации физических законов. Спрашивать о том, какая геометрия истинна, столь же бессмысленно, как и вопрос о том, какая система единиц является истинной, старая или метрическая¹.

Рассмотрев вопрос об ошибочной интерпретации Пуанкаре как дюгемианца, мы можем перейти к другой ошибочной точке зрения, согласно которой Пуанкаре якобы рассматривал свой конвенционализм как *отрицание* следующего

¹ D. M. Y. Som m e r v i l l e, The Elements of Non-Euclidean Geometry, New York: Dover Publications, 1958, pp. 209—210.

утверждения, позднее сформулированного в тезисе Карнапа — Рейхенбаха, который обсуждался в третьей главе: в принципе вопрос относительно геометрии физического пространства становится *эмпирическим* после того, как геометрическому словарию (включающему применительно к интервалам и углам термин «конгруэнтный») дана физическая интерпретация.

Согласно весьма распространенному толкованию работ Пуанкаре, он якобы утверждал, что даже после того, как системе абстрактной геометрии дается семантическая интерпретация с помощью частной координативной дефиниции конгруэнтности, никакой эксперимент не может ни верифицировать, ни опровергнуть вытекающую отсюда физическую геометрию; выбор частной метрической геометрии является, по существу, делом соглашения¹.

Принципиальной основой представлений о том, что Пуанкаре был в оппозиции к тому виду ограниченного метрического эмпиризма, который поддерживают такие авторы, как Рейхенбах и Карнап, является, по-видимому, обсуждение «Опыта и геометрии» в пятой главе его «Науки и гипотезы»², где в пятом разделе кульминационным пунктом является следующее утверждение: «...как ни взглянуть на дело, невозможно найти достаточного основания для геометрического эмпиризма»³. Однако, по-видимому, мало кому известно, что Пуанкаре дословно переписал четвертый и пятый разделы этой главы из более обширного текста своей ранней статьи «Основы геометрии (по поводу книги

¹ Точка зрения, согласно которой Пуанкаре был крайним геометрическим конвенционалистом, отрицавшим ограниченный метрический эмпиризм Карнапа и Рейхенбаха, разделяется, например, следующими авторами: H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, p. 36; «The Rise of Scientific Philosophy», p. 133; «The Philosophical Significance of the Theory of Relativity», в: P. A. Schilpp (ed.), «Albert Einstein: Philosopher-Scientist», Evanston: Library of Living Philosophers, 1949, p. 297; E. Nagel, *The Structure of Science*, p. 261; «Einstein's Philosophy of Science», «The Kenyon Review», Vol. XII (1950), p. 525; «The Formation of Modern Conceptions of Formal Logic in the Development of Geometry», «Osiris», Vol. VII, 1939, pp. 212—216; H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton: Princeton University Press, 1949, p. 34; O. Hölder, *Die Mathematische Methode*, Berlin: Julius Springer, 1924, S. 400, n. 2.

² А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр. 85—101.

³ Там же, стр. 92—93.

Рассела)»¹, за которой последовало его знаменитое возражение «Принципы геометрии (ответ Расселу)»². Эти статьи, на которые обращают мало внимания, вместе с его посмертно изданными «Последними мыслями»³, как мне кажется, убедительно свидетельствуют о том, что Пуанкаре не был оппонентом точки зрения ограниченного эмпиризма, разделяемой Рейхенбахом и Карнапом. И я объясняю его очевидное одобрение абсолютного антиэмпирического конвенционализма в его наиболее известных работах той исторической ситуацией, в которой они были написаны.

Ибо на рубеже прошлого и нынешнего столетий риманова ограниченно эмпирическая концепция физического пространства, в которой полностью осознавался условный статус конгруэнтности и которую мы теперь связываем с именами Карнапа и Рейхенбаха, имела достаточно философских последователей, которые столь надежно охраняли ее, что дали стимул и обеспечили мишень для полемики со стороны Пуанкаре. Напротив, доминировавшими тогда философскими интерпретациями геометрии были априористские неокантианские концепции таких авторов, как Кутюра и Рассел, с одной стороны, и интерпретация Гельмгольца чисто эмпирического толка, которая считала недопустимым предположение об условном характере конгруэнтности, — с другой⁴.

¹ Эта критика работы Рассела «Foundations of Geometry» опубликована в «Revue de Métaphysique et de Morale», [Vol. VII (1899), pp. 251—279], приведенный отрывок находится в разделе двенадцатом (стр. 265—267) этой статьи.

² «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VIII (1900), pp. 73—86, соответствующая статья Рассела «Sur les Axiomes de la Géométrie» помещена в седьмом томе (1899) этого же журнала стр. 684—707).

³ А. Пуанкаре, Последние мысли, Пр., 1923, гл. 2 и 3.

⁴ См. Н. von Helmholtz, Schriften zur Erkenntnistheorie, Berlin: Julius Springer, 1921, S. 15—20. Г. Фрейденталь утверждал [«Mathematical Reviews», Vol. XXII (1961), p. 107], что вместо того, чтобы поддержать Римана против Гельмгольца, Пуанкаре был представителем гельмгольцевской антиримановской точки зрения, согласно которой метрическая геометрия предполагает в качестве стандарта конгруэнтности трехмерное, а не просто одномерное жесткое тело. Фрейденталь подкрепляет эту интерпретацию Пуанкаре заявлением последнего, что «если бы в природе не было никаких твердых тел, то не было бы и никакой геометрии» [«L'Espace et la Géométrie», «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. III (1895), p. 638]. Согласно Фрейденталю [«Zur Geschichte der Grundlagen der Geometrie», «Nieuw Archief voor Wiskunde», Vol. V, (1957), p. 115], это заявление показывает, что «Пуанкаре все еще мыслит в духе полного эмпиризма, который характерен для

Не удивительно поэтому, что подчеркивание конвенционализма Пуанкаре в его наиболее известных, но несовершенных работах представляется в современной ситуации достаточным основанием для зачисления его в ранг таких крайних конвенционалистов, каким является, например, Динглер¹.

В подтверждение необычной интерпретации Пуанкаре как ограниченного эмпирика в области геометрии, а не как крайнего конвенционалиста приведем следующий важный и недвусмысленный отрывок, который завершает возражение Пуанкаре Расселу, утверждавшему, что «аксиома свободной подвижности» обеспечивает поистине уникальный критерий конгруэнтности, являющийся априорным условием возможности метрической геометрии в смысле кантовского метода предположений, а не в смысле координативной дефиниции. Пуанкаре пишет:

В конце концов я никогда не говорил, что кто-то может установить с помощью эксперимента, сохраняют ли некоторые тела

гельмгольцевского решения проблемы пространства и даже не вникает в концепцию Римана, которой известна метрика, не нуждающаяся в каких-либо твердых телах». Однако вопреки Фрейденталю представляется совершенно ясным из контекста заявления Пуанкаре, что его мнение о роли жестких тел вовсе не имеет отношения к утверждению Гельмгольца о трехмерном стандарте конгруэнтности в отличие от одномерного стандарта Римана. Напротив, оно касается роли твердых тел в генезисе представлений об отличии изменения положения от изменения состояния. Твердые тела отличаются от жидкостей и газов тем, что их перемещение можно компенсировать соответствующим движением наших собственных тел, обусловленным стремлением восстановить ту систему чувственных впечатлений, которые мы имели о твердых телах до их перемещения.

Однако этот взгляд, по существу, созвучен как римановой концепции относительно одномерного стандарта конгруэнтности, так и его утверждению, что, будучи непрерывным, физическое пространство не имеет никакой внутренне присущей ему метрики. последняя должна быть привнесена откуда-то еще, что и делается с помощью твердого тела. В самом деле, как мог Пуанкаре поддерживать конвенциональный характер конгруэнтности и вытекающую отсюда возможность введения иной метрики физического пространства, на чем он основывал свой тезис о возможности либо евклидова, либо неевклидова описания, если он не придерживался именно такой точки зрения?

¹ Пуанкаре сам сожалел о широком распространении неверного понимания его философских работ и об ошибочной его интерпретации «всеми реакционными французскими журналами» [см. его «Новую механику» («La Mécanique Nouvelle»), цитируется по: R. D u g a s, Henri Poincaré devant les Principes de la Mécanique, «Revue Scientifique», Vol. LXXXIX (1951), p. 81].

свою форму. Я утверждал как раз обратное. Выражение «сохранять свою форму» само по себе не имеет никакого смысла. Но я считаю, что ему можно придать смысл, *обусловив*, что об определенных телах будет говориться, что они сохраняют свою форму. Выбранные таким образом тела с этих пор могут служить в качестве измерительных инструментов. Но если я говорю, что эти тела сохраняют свою форму, то только потому, *что я так выбрал*, а не потому, что эксперимент вынудил меня к этому.

В данной ситуации я решил поступить таким образом потому, что на основании серии *наблюдений* (констатаций), аналогичных тем, которые обсуждались в предыдущем разделе [то есть наблюдений, которые говорят о совпадении определенных точек с другими в ходе движения тел], на основании *эксперимента* я *делаю вывод* о том, что их движения образуют евклидову группу. Я смог произвести эти наблюдения только что упомянутым образом, *не ссылаясь ни на какую предвзятую идею относительно метрической геометрии*. И после того, как я сделал эти наблюдения, я полагаю, что соглашение будет удобным, и я принимаю его¹.

Я должен также обратить внимание читателя на заявление Пуанкаре о том, что «никакая геометрия не является ни истинной, ни ложной»². Это заявление было сделано им в ходе дискуссии, когда он противопоставлял свое согласие с этим высказыванием полному отрицанию следующих двух утверждений: 1) истинность евклидовой геометрии известна нам а priori независимо от какого-либо опыта, и 2) одна из геометрий является истинной, а другая — ложной, но мы никогда не сможем узнать, какая из них истинна. Истинное содержание этой дискуссии показывает, что Пуанкаре интересуют в ней абстрактные, неинтерпретированные геометрии, отношения которых к физическим фактам остаются, однако, недетерминированными в силу отсутствия координативных дефиниций. Именно поэтому он направляет свою критику против тех, кто не может понять, что установление равенства предиката «конгруэнтный» с его обозначением (*denotata*) является вопросом не фактуальной истины, а координативной дефиниции. Поэтому он и спрашивает в «Науке и гипотезе»: «Но как убедиться [не впадая в логический круг], что та конкретная величина, которую я измерил своим материальным прибором, в точности представляет абстрактное расстояние?»³

¹ H. Poincaré, Sur les Principes de la Géométrie, Réponse à M. Russell, pp. 85—86. (курсив в последнем абзаце мой.— А. Г.).

² Ibid., pp. 73—74.

³ А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр. 87—88. В другой своей статье он пишет: «Тогда кто-то должен определить расстояние путем измерения» и «геометрическое [абстрактное] расстояние»

Однако можно оспаривать мою интерпретацию или же сделать вывод, что Пуанкаре был непоследовательным, указав на следующий отрывок из его работы:

Итак, не должны ли мы заключить, что аксиомы геометрии суть истины экспериментальные?.. Если бы геометрия была опытной наукой, она не была бы наукой точной и должна была бы подвергаться постоянному пересмотру. Даже более, она немедленно была бы уличена в ошибке, так как мы знаем, что не существует твердого тела, абсолютно неизменного.

Итак, *геометрические аксиомы... суть условные положения...* Поэтому-то постулаты могут оставаться *строго* правильными, даже когда опытные законы, которые определили их выбор, оказываются лишь приближительными ¹.

Единственная возможность объяснения последнего отрывка и других, подобных ему, при наличии иных высказываний в его работах заключается в предположении, что Пуанкаре утверждает здесь следующее: имеются практические, а не логические трудности, которые не позволяют полностью элиминировать возмущающие пертурбации, откуда и вытекает неопределенность (растяжение); кроме того, ограниченность эмпирических данных дает в известной мере простор для условности (соглашения) при определении метрического тензора.

Данная трактовка точки зрения Пуанкаре согласуется с интерпретацией, данной в книге Ружье «Философия геометрии Анри Пуанкаре». Ружье пишет:

Соглашения фиксируют язык науки, который может меняться неопределенным образом: раз эти соглашения приняты, факты, выражаемые наукой, являются либо истинными, либо ложными... Имеются возможности и для других соглашений, которые ведут к иным выражениям, однако истина остается той же самой. Можно переходить от одной системы соглашений к другой с помощью соответствующего словаря. Именно возможность такого перевода показывает наличие некоторого инварианта... Соглашения относятся к изменчивому языку науки, но не к инвариантам реальности, которые они выражают ².

нуждается, таким образом, в определении, и оно может быть определено только путем измерения» («Sur les Principes de la Géométrie, Réponse à M. Russell», pp. 77, 78).

¹ А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр. 60—61.

² L. Rougière, La Philosophie Géométrique de Henri Poincaré, Paris: F. Alcan, 1920, pp. 200—201.

**В. Критическая оценка концепции Эйнштейна
относительно взаимозависимости геометрии и физики:
физическая геометрия как контрпример *D*-тезиса
в его нетривиальной форме**

Эйнштейн одобрил требование Дюгема и выразил его более точно, сославшись на специальный случай проверки гипотезы о физической геометрии. В противоречие с концепцией Карнапа — Рейхенбаха Эйнштейн утверждает¹, что ни одна гипотеза о физической геометрии не может быть фальсифицирована *separatno*, то есть в отрыве от остальной физики, даже если бы всем терминам в словаре геометрической теории, включая и термин «конгруэнтность» линейных отрезков и углов, была дана физическая интерпретация. И содержание его аргументации кратко состоит в следующем: для того чтобы следовать практике обычной физики и использовать твердые стержни в качестве стандарта конгруэнтности при определении геометрии, существенно также сделать числовые поправки на термические, упругие, электромагнитные и другие деформации, испытываемые твердыми стержнями. Введение этих поправок является существенной частью логики проверки физической геометрии². Ибо наличие негомогенных термических и иных подобных им влияний имеет своим результатом зависимость совпадений твердых стержней при их перемещении от *химического строения* последних, в то время как физическая геометрия рассматривается как система метрических отношений, которые присущи перемещаемым твердым телам независимо от их специфического химического строения. У требования элиминировать с помощью вычислений эти специфически субстанциальные возмущения в качестве предпосылки экспериментального определения геометрии имеется термодинамический двойник, а именно требование измерять темпе-

¹ См.: А. Эйнштейн, Замечания к статьям, «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 304—305.

² Более подробное изложение соответствующих вычислений см. в работах: В. Weinstein, Handbuch der Physikalischen Massbestimmungen, Berlin: Julius Springer, Bde. I (1886), II (1888); А. P é r a r d, Les Mesures Physiques, Paris: Presses Universitaires de France, 1955; V. Stille, Messen und Rechnen in der Physik, Braunschweig: Vieweg, 1955; R. Leclercq, Guide Théorique et Pratique de la Recherche Expérimentale, Paris: Gauthier-Villars, 1958.

ратуру с помощью таких средств, которые не давали бы в результатах разнобоя, вызываемого расширением шкалы термометра за некоторые фиксированные точки, если разные шкалы изготовлены из веществ, различных по своим термометрическим свойствам. Это требование термодинамики успешно выполнено с помощью термодинамической шкалы температур Кельвина.

Однако Эйнштейн утверждает, что сама геометрия никогда не может быть связана с экспериментальной фальсификацией в отрыве от других законов физики, которые учитываются при вычислении поправок, компенсирующих деформации стержня. Отсюда он делает вывод, что вы можете всегда сохранить ту геометрию, которая вам нравится, с помощью соответствующей регулировки в связанных с ней корректировочных физических законах. Говоря более точно, он излагает этот случай в форме диалога, где он приписывает свою собственную дюгемианскую точку зрения Пуанкаре и выставляет ее в противовес концепции Рейхенбаха, рассмотренной нами в третьей главе. Мы показали, что тексты Пуанкаре *не* подтверждают интерпретацию Эйнштейна. Ибо, как мы видели в разделе Б, где рассматривали изменения, которые испытывают стержни под воздействием возмущений, Пуанкаре говорит по этому поводу: «Но мы, устанавливая основы геометрии, пренебрегаем этими изменениями, так как, помимо того, что они крайне незначительны, они еще неправильны и, следовательно, кажутся нам случайными»¹. Поэтому я имею право заменить имя «Пуанкаре» в эйнштейновском диалоге на имя «Дюгем и Эйнштейн». При учете этой модификации диалог читается следующим образом:

Дюгем и Эйнштейн. Эмпирически данные тела не являются абсолютно твердыми и, следовательно, не могут служить реализацией геометрических отрезков. Поэтому теоремы геометрии нельзя проверить на практике.

Рейхенбах. Я допускаю, что тел, которые могли бы сами по себе служить «реальным определением» отрезка, не существует. Тем не менее такое реальное определение можно получить, приняв во внимание тепловое расширение, упругость, электро- и магнетострикцию и т. д. То, что это на самом деле возможно и не приводит к противоречиям, доказано классической физикой.

Дюгем и Эйнштейн. При построении улучшенного реального определения Вы воспользовались физическими законами, формулировка которых (в этом случае) предполагает евклидову геометрию.

¹ А. Пуанкаре, Наука и гипотеза, стр 78

Следовательно, проверка, о которой Вы говорили, относится не только к геометрии, но и ко всей совокупности физических законов, лежащих в ее основе. Отсюда следует, что проверка одной лишь геометрии невозможна.

Но тогда почему бы нам не выбрать геометрию (например, евклидову), руководствуясь исключительно соображениями собственного удобства, а остальные (физические в обычном смысле законы) не подгонять к выраженной геометрии так, чтобы вся система в целом не противоречила опыту¹.

Говоря здесь о «действительном определении» (то есть о координативной дефиниции) «конгруэнтных отрезков» с помощью перемещения уточненных отрезков, Эйнштейн игнорирует то обстоятельство, что в физике действительный и потенциальный смысл конгруэнтности *не может быть* выражен исчерпывающим образом каким-либо одним физическим критерием или проверочным условием. Однако здесь, как и повсюду в этой книге, мы допускаем совместимость различных физических критериев конгруэнтности и, следовательно, можем спокойно игнорировать этот явно комплексный характер понятия конгруэнтности. Наш, так же как и Эйнштейна, интерес направлен только на то, чтобы выбрать один специфический класс конгруэнтности из бесконечно большого числа различных классов. И поскольку точное установление нами этого единственного выбранного класса является недвусмысленным, совершенно несущественно, что существуют также и другие физические критерии (или проверочные условия), с помощью которых он мог бы быть установлен.

Эйнштейн указывает здесь на два важных пункта. Прежде всего при получении физической геометрии с помощью данной физической интерпретации постулатов формальной системы геометрических аксиом точное установление физического смысла таких теоретических терминов, как «конгруэнтный», «длина» или «расстояние», не является только делом задания операциональной дефиниции в строгом смысле. Напротив, то, что обозначается такими различными терминами, как «правило соответствия» (Маргенау и Карнап), «координативная дефиниция» (Рейхенбах), «эпистемическая корреляция» (Нортроп) или «словарь» (Кэмпбелл), обеспечивается в данном случае самым ходом размышлений над гипотезами и законами, второстепенными по отношению

¹ А. Эйнштейн, Замечания к статьям, «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 304—305.

к геометрической теории, физический смысл которой нужно установить. Замечание Эйнштейна о том, что физический смысл конгруэнтности задается перемещением стержня, который *теоретическим образом корректируется* относительно идиосинкразических возмущений, представляет собой разъяснение и имеет повсеместно в теории физики множество аналогий, показывая одновременно, что строгие операциональные дефиниции являются скорее упрощенными и ограниченными разновидностями правил соответствия. В частности, мы видим, что физическая интерпретация термина «длина», который часто приводят в качестве прототипа всех «операциональных» определений в бриджменовском смысле, не дается операционально в смысле введения каких-либо отличительных признаков этого термина, и он представляет собой, таким образом, что-то вроде ритуального заклинания. Второе, кардинальное для наших целей требование Эйнштейна состоит в том, что использование теории в физической дефиниции конгруэнтности неизбежно приводит к логическому кругу. Эйнштейн утверждает, что мало признавать наличие некоего априорного элемента в смысле дюгемианской неясности, жесткое тело нельзя даже определить, не декретируя сперва справедливость евклидовой геометрии (или какой-либо другой частной геометрии). Ибо до того, как скорректированный стержень может быть использован для эмпирического определения де-факто геометрии, требуемые уточнения должны быть вычислены с помощью таких законов, как законы упругости, которые подразумевают вычисляемые с помощью евклидовой геометрии площади и объемы¹.

Однако ясно, что *на этой стадии* основания для введения евклидовой геометрии не могут быть эмпирическими.

В том же духе Вейль следующим образом одобряет позицию Дюгема:

Геометрия, механика и физика составляют нераздельное теоретическое целое...² Философы выдвинули тезис, что справедливость или несправедливость евклидовой геометрии не может быть доказана с помощью эмпирических наблюдений. На самом деле следует

¹ См.: J. S. Sokolnikoff, *Mathematical Theory of Elasticity*, New York: McGraw-Hill Book Co., 1946, а также: S. Timoshenko, and J. N. Goodier: *Theory of Elasticity*, New York: McGraw-Hill Book Co., 1951.

² H. Weyl, *Space-Time-Matter*, New York: Dover Publications, 1950, p. 67.

допустить, что во всех подобных наблюдениях существенные физические предположения, такие, как утверждение о том, что траектория светового луча представляет собой прямую линию, и другие, подобные ему, играют важную роль. Это только подтверждает сделанное выше замечание, что геометрия и физика как единое целое могут быть проверены эмпирическим путем¹.

Если бы было доказано, что дюгемианский тезис Эйнштейна и Вейля является верным, тогда следовало бы признать, что физическая геометрия в некотором смысле сама по себе не обеспечивает геометрической характеристики физической реальности. Ибо с помощью этой характеристики мы устанавливаем точную связь системы отношений, в которые вступают между собой тела и перемещаемые твердые стержни, совершенно независимо от их специфических субстанциальных деформаций. И физическая геометрия является априорной лишь в той степени, в какой дюгемовская неопределенность позволяет вводить в физическую теорию априорные элементы с тем, чтобы заполнить специфически геометрические пробелы в нашем познании физического мира.

Теперь нам хотелось бы изложить свои сомнения относительно справедливости предложенной Эйнштейном геометрической интерпретации *D*-тезиса, опираясь на доказательство сепаратной фальсифицируемости геометрической гипотезы *H*. Мы это сделаем в два приема, из которых первый будет касаться упрощенного случая, когда в некоторой области, геометрию которой нужно установить, не существует никаких эффективных деформирующих воздействий.

В разделе А мы показали, что *D*-тезис в его нетривиальной форме *pop sequitur*; в данном случае мы попытаемся показать с помощью геометрического контрпримера, что он является также и ошибочным.

Однако сначала необходимо пояснить, в каком именно смысле мы рассматриваем наши геометрические контрпримеры в качестве доказательства ошибочности *D*-тезиса в его нетривиальной форме.

В любом из этих случаев мы будем приводить в качестве доказательства логически возможные эмпирические данные *O'*, для которых любое нетривиальное *A'*, способное сохранить *H* вопреки *O'*, является эмпирически неверным. Мы утверждаем, что наши контрпримеры показывают оши-

¹ H. Weyl, Space-Time-Matter, p. 93.

к геометрической теории, физический смысл которой нужно установить. Замечание Эйнштейна о том, что физический смысл конгруэнтности задается перемещением стержня, который *теоретическим образом корректируется* относительно идиосинкразических возмущений, представляет собой разъяснение и имеет повсеместно в теории физики множество аналогий, показывая одновременно, что строгие операциональные дефиниции являются скорее упрощенными и ограниченными разновидностями правил соответствия. В частности, мы видим, что физическая интерпретация термина «длина», который часто приводят в качестве прототипа всех «операциональных» определений в бриджменовском смысле, не дается операционально в смысле введения каких-либо отличительных признаков этого термина, и он представляет собой, таким образом, что-то вроде ритуального заклинания. Второе, кардинальное для наших целей требование Эйнштейна состоит в том, что использование теории в физической дефиниции конгруэнтности неизбежно приводит к логическому кругу. Эйнштейн утверждает, что мало признавать наличие некоего априорного элемента в смысле дюгемианской неясности, жесткое тело нельзя даже определить, не декретируя сперва справедливость евклидовой геометрии (или какой-либо другой частной геометрии). Ибо до того, как скорректированный стержень может быть использован для эмпирического определения де-факто геометрии, требуемые уточнения должны быть вычислены с помощью таких законов, как законы упругости, которые подразумевают вычисляемые с помощью евклидовой геометрии площади и объемы¹.

Однако ясно, что *на этой стадии* основания для введения евклидовой геометрии не могут быть эмпирическими.

В том же духе Вейль следующим образом одобряет позицию Дюгема:

Геометрия, механика и физика составляют нераздельное теоретическое целое...² Философы выдвинули тезис, что справедливость или несправедливость евклидовой геометрии не может быть доказана с помощью эмпирических наблюдений. На самом деле следует

¹ См.: J. S. Sokolnikoff, *Mathematical Theory of Elasticity*, New York: McGraw-Hill Book Co., 1946, а также: S. Timoshenko, and J. N. Goodier: *Theory of Elasticity*, New York: McGraw-Hill Book Co., 1951.

² H. Weyl, *Space-Time-Matter*, New York: Dover Publications, 1950, p. 67.

допустить, что во всех подобных наблюдениях существенные физические предположения, такие, как утверждение о том, что траектория светового луча представляет собой прямую линию, и другие, подобные ему, играют важную роль. Это только подтверждает сделанное выше замечание, что геометрия и физика как единое целое могут быть проверены эмпирическим путем¹.

Если бы было доказано, что дюгемианский тезис Эйнштейна и Вейля является верным, тогда следовало бы признать, что физическая геометрия в некотором смысле сама по себе не обеспечивает геометрической характеристики физической реальности. Ибо с помощью этой характеристики мы устанавливаем точную связь системы отношений, в которые вступают между собой тела и перемещаемые твердые стержни, совершенно независимо от их специфических субстанциальных деформаций. И физическая геометрия является априорной лишь в той степени, в какой дюгемовская неопределенность позволяет вводить в физическую теорию априорные элементы с тем, чтобы заполнить специфически геометрические пробелы в нашем познании физического мира.

Теперь нам хотелось бы изложить свои сомнения относительно справедливости предложенной Эйнштейном геометрической интерпретации *D*-тезиса, опираясь на доказательство сепаратной фальсифицируемости геометрической гипотезы *H*. Мы это проделаем в два приема, из которых первый будет касаться упрощенного случая, когда в некоторой области, геометрию которой нужно установить, не существует никаких эффективных деформирующих воздействий.

В разделе А мы показали, что *D*-тезис в его нетривиальной форме *pop sequitur*; в данном случае мы попытаемся показать с помощью геометрического контрпримера, что он является также и ошибочным.

Однако сначала необходимо пояснить, в каком именно смысле мы рассматриваем наши геометрические контрпримеры в качестве доказательства ошибочности *D*-тезиса в его нетривиальной форме.

В любом из этих случаев мы будем приводить в качестве доказательства логически возможные эмпирические данные *O'*, для которых любое нетривиальное *A'*, способное сохранить *H* вопреки *O'*, является эмпирически неверным. Мы утверждаем, что наши контрпримеры показывают оши-

¹ H. Weyl, Space-Time-Matter, p. 93.

бочность D -тезиса именно в силу того, что для каждого из этих примеров не существует никакого истинного нетривиального A' , которое сохраняло бы H , объясняя O' в конъюнкции с H . Поскольку любое A'_{nt} , которое дает истинное O' , является ошибочным в случае с этими двумя контрпримерами, конъюнкция H с любой тривиальной вспомогательной гипотезой, отрицающей гипотезу A'_{nt} , содержит наблюдательные следствия, *несовместимые* с принимаемой истинностью O' и, следовательно, неверные. Однако, поскольку конъюнкция H с любой *истинной* A'_{nt} в том или ином из этих примеров содержит ошибочные наблюдения относительно $\sim O'$, то H фальсифицируема сепаратным образом. Здесь нелогично то, что некоторые ошибочные утверждения относительно наблюдений, несовместимые с O' , могут быть выведены из ошибочного A'_{nt} в конъюнкции с H . Ибо дело состоит в том, что ошибочность вывода относительно наблюдательных данных $\sim O'$, который получается из H в конъюнкции с A'_{nt} , *не может всегда быть* ответственной исключительно за ошибочность вспомогательной гипотезы, поскольку конъюнкция H с любым *истинным* A'_{nt} содержит, как известно, *ошибочные* выводы относительно наблюдательных данных $\sim O'$. Короче говоря, смысл наших геометрических контрпримеров по отношению к D -тезису состоит в том, что если бы H была верной и объясняла O' , тогда существовало бы *истинное* A'_{nt} , которое позволило бы H содержать правильные наблюдательные данные O' . Однако никакого такого A'_{nt} не существует, поскольку любое A'_{nt} , которое обеспечивало бы истинные O' , является ошибочным. Следовательно, соединение H с любым истинным A'_{nt} приводит к ошибочным результатам. Следовательно, H сама является ошибочной.

Согласно альтернативной интерпретации работ Дюгема, которую дает Лоуренс Лоден, эти примеры сепаратной фальсифицируемости якобы совместимы с точкой зрения Дюгема на логику фальсифицируемости компоненты гипотезы. Он обращает внимание на аргумент Дюгема относительно невозможности решающих экспериментов в физике в третьем разделе четвертой главы (часть II) его книги «Цель и структура физической теории» («The Aim and Structure of Physical Theory»). И Лоден утверждает, что текст Дюгема там и в других местах допускает альтернативную интерпретацию. Дюгема интересует прежде всего доказательство того, что опровержение компоненты гипотезы обычно

не более доказательно, чем ее верификация. Он утверждает, что мы очень редко можем узнать, если можем узнать вообще, что не существует некоторой системы убедительных предположений A'_{nt} , которые были бы в состоянии основательно опровергнуть H , чтобы объяснить O' . Он не считает, что такая система A'_{nt} существует всегда. Напротив, он говорит, что сепаратная фальсификация компоненты гипотезы H зависит от доказательства того, что такой системы A'_{nt} не существует. Таким образом, цель доказательства, по Дюгему, состоит не в том, чтобы доказать существование такой системы A'_{nt} в любом случае; напротив, доказательство отсутствия такой системы является обязательным для любого утверждения относительно сепаратной фальсификации H . Согласно этим рассуждениям, обвинение «*pop sequitur*» нужно выдвигать не в адрес аргументации Дюгема, а в адрес того, кто утверждает, что H может быть фальсифицирована сепаратным образом без предварительного доказательства отсутствия соответствующей системы A'_{nt} .

Лоден полагает, что если бы Дюгем на самом деле был сторонником тезиса, который обычно приписывают ему, то в таком случае его рассуждения в поддержку невозможности решающих экспериментов были бы отличны от тех, каковыми они являются в действительности. В частности, он указывает на доводы Дюгема в пользу отрицания возможности того, что эксперимент мог бы дать решение в пользу гипотезы H_2 против ее конкурента H_1 . Доводы Дюгема состоят не в том, что всегда можно сохранить H_1 с помощью соответствующей A'_{nt} при наличии любого доказательства, а в том, что хотя H_1 и может быть фальсифицирована, мы не в состоянии вывести отсюда истинность H_2 , потому что может существовать по крайней мере еще одна гипотеза H_3 , способная объяснить это явление. Однако на эту гипотезу ученые пока не обратили внимания. Лоден говорит, что если бы Дюгем верил в сильное утверждение, обычно приписываемое ему, он не апеллировал бы к возможному существованию неучтенной альтернативной гипотезы H_3 , когда отрицал, что какой-либо эксперимент может дать окончательное решение в пользу H_2 против H_1 . Ибо любой сторонник D -тезиса стал бы обосновывать отрицание выполнимости такого решающего эксперимента на утверждении, что H_1 не может быть опровергнута, но всегда может быть поддержана перед лицом какого бы то ни было доказательства.

Теперь нам хотелось бы изложить свои сомнения по поводу логического обоснования Эйнштейном геометрической формы D -тезиса. Мы сделаем это в два приема, но сперва займемся специальным случаем, когда в области пространства, геометрию которого нам необходимо установить, не существует сколько-нибудь значительных деформирующих воздействий.

Предположим, что мы столкнулись с проблемой опровержения гипотезы H , пользующейся обычной конгруэнтностью и приписывающей геометрию G области, действительно свободной от специфических для каждого вещества деформирующих воздействий. В таком случае поправочные физические законы не играют никакой роли как вспомогательные предположения и последние сводятся к утверждению A о том, что рассматриваемая область фактически свободна от специфических для каждого вещества деформирующих воздействий. И если при этих обстоятельствах могут быть выдвинуты неопровержимые доводы против постулирования подобных деформирующих воздействий, тогда отрицание не может считаться оправданным. В этом случае геометрическая гипотеза H , основанная на обычной конгруэнтности, была бы *сепаратно* фальсифицируемой метрическими наблюдениями O' , которым H должна была бы дать объяснение и которые несовместимы с конъюнкцией $H \cdot A$. Напротив, если при постулируемых обстоятельствах можно было бы убедительно и логично отказаться от A в пользу конкурирующего с ним утверждения A' относительно наличия *специфических* деформаций, тогда Дюгем и Эйнштейн могли бы утверждать, что H нельзя сепаратно опровергнуть, поскольку A' давало бы H возможность объяснить специфические данные O' , связанные с метрикой.

Следовательно, мы должны поставить вопрос: какие соображения могли бы гарантировать при постулируемых обстоятельствах утверждение A и каков характер предположений, выдвигаемых при отрицании A ? Можно настаивать на отсутствии деформирующих воздействий и доказать это независимо от уровня разработки теории любой из множества метрических величин (например, температуры), повсеместное постоянство которых обеспечивает отсутствие подобных деформаций. Ибо именно существование физической геометрии, соответствующей стандарту конгруэнтности, влечет за собой утверждение, что отсутствие таких деформаций может быть удостоверено для данной области следу-

щим образом: любые два жестких стержня, различные по своим качественным проявлениям, которые совпадают в одном месте этой области, будут совпадать в ней повсюду независимо от траекторий их перемещения. Простое установление того, что стержень является жестким в противоположность жидким и газообразным сущностям, *не* предполагает метрики пространства или метрической геометрии. Ни визуальные, ни тактильные данные, удостоверяющие наличие топологического отношения совпадения (противоположного несовпадению) между стержнями, не подразумевают ссылок на геометрию, хотя, конечно, их точность не беспредельна. И на уровне качественного перцептуального подтверждения, необходимого здесь, не нужны никакие отличительные *метрические* признаки в отношении характеристики химических *различий* между жесткими телами. Несущественность метрических подробностей, о которой мы здесь говорим, по существу, совместима с тем фактом, что при химической идентификации любого специфического жесткого тела, будь то кусок дерева или железа, можно делать ссылки на свойства, подобные плотности или молекулярному весу, которые предполагают геометрические атрибуты. Так предположим, что из двух на ощупь жестких тел, окрашенных в разный цвет, только одно плавает в озере. Тогда можно про эти два тела сказать, что они различны по своему химическому составу, и поручиться за то, что при перемещении они будут обнаруживать согласие в совпадениях независимо от того, будет ли установлено, что эти тела изготовлены из дерева и железа, а жидкость, наполняющая озеро, является водой. И если все жесткие на ощупь тела, качественно различающиеся между собой, при перемещении в определенной области будут одинаковым образом совпадать, то в таком случае эту область следует рассматривать как свободную от деформирующих воздействий, не ссылаясь при этом ни на какую метрическую геометрию. Именно концепция существования физической геометрии, не зависящей от химического состава жестких тел, подразумевает, что наблюдаемое однообразие совпадений при перемещении индуктивно гарантирует свободу от деформирующих воздействий, влияние которых ликвидировало бы эти совпадения.

Весьма важное значение имеет ясное понимание того, что дискуссия между дюгемианцем и нами касается *не* вопроса о том, осмыслены ли теоретически (theory-laden) наблюдательные свидетельства о совпадении двух жестких стерж-

ней при их перемещении, и насколько (или совсем) эти стержни различны по химическому составу. Напротив, спор идет о том, являются ли наблюдательные свидетельства (пусть они будут теоретически осмыслены) теоретически осмыслены *до такой степени, чтобы запрещать сепаратную фальсифицируемость H* ! Мы сейчас увидим, что теоретическая запутанность в утверждении A о том, что имеется свобода от деформирующих влияний, не является таковой, чтобы допускать утверждение типа A' , необходимое для отрицания сепаратной фальсифицируемости H с помощью O' . Чтобы показать это, мы сформулируем и дадим оценку тем видам предположений, которые входят в любое A' , отрицающее A , и которые были бы способны сохранить H в качестве *объясняющего* (explanans) O' .

Любое частное отрицательное A' относительно свободы от деформирующих влияний, которое должно спасти H вопреки O' , *несмотря на согласующиеся с наблюдением совпадения*, должно постулировать следующие количественные для каждого вещества специфические деформации по сравнению с обычной конгруэнтностью:

1) хотя не существует никаких *независимых* доказательств, подтверждающих существование каких-либо физических источников (например, тепловых), обеспечивающих предполагаемое наличие деформирующих влияний, A' должно утверждать, что данная область фактически неоднородна в одном или нескольких специфических отношениях (например, тепловом);

2) чтобы объяснить согласие в совпадениях при перемещении, A' должно утверждать, что все совпадающие жесткие стержни, имеющиеся в данной области, испытывают специфические *подобные* деформации по сравнению с обычной конгруэнтностью в соответствии с установленными поправочными законами;

3) следовательно, A должно утверждать, что все химически различные жесткие тела являются в химическом отношении телами одного и того же вида и, конечно, относятся к одному и тому же *специфическому* виду, который можно связать с частными значениями различных специфических для каждого вещества поправочных коэффициентов;

4) A' должно утверждать, что одинаковые деформации, вызываемые упомянутыми источниками, должны объяснять *неизменное* единообразие в совпадениях стержней *независимо* от путей их перемещения;

5) A' должно быть таковым, чтобы допускать объяснение с помощью H метрических данных O' в конъюнкции с A' .

Мы подчеркиваем, что теоретические затруднения, связанные с подтверждением при помощи наблюдений отсутствия деформирующих влияний, не оставляют достаточно простора некоторым конкурентным A' , которые необходимы для предотвращения сепаратной фальсифицируемости H .

Наблюдательные данные, касающиеся неизменного единобразия в совпадении стержней, даже в том случае, если они теоретически осмыслены, содержат достаточно *относительно упрямых фактов*, чтобы отвергнуть такое предположение, как A' . Конечно, если дюгемианец настаивает, что он, кстати говоря, и делает, на утверждении, согласно которому *теоретическая система в целом* может быть фальсифицирована с помощью наблюдений, он в таком случае неизбежно должен предположить, что соответствующие фальсифицирующие наблюдения представляют для нас достаточно *относительно упрямый факт*, чтобы быть фальсифицирующими. Мог ли дюгемианец правомерно утверждать, что относительно элементарные виды наблюдений, подтверждающие A (например, совпадения качественно различных твердых тел), являются достаточно сомнительными, чтобы допустить альтернативное утверждение конкурентной гипотезы A' ? Если бы дюгемианец был вынужден утверждать подобное, тогда возник бы вопрос, как могли бы *какие-либо* наблюдения всегда обладать однозначностью, которую он должен приписывать им, чтобы квалифицировать их как опровергающие теоретическую систему в целом? И если бы не было никаких относительно упрямых фактов, с которыми в какой-то специфической ситуации теоретическая система в целом пришла бы в противоречие, то как бы мог тогда дюгемианец избежать следующего вывода: «Наблюдательные данные всегда столь неограниченно двусмысленны, что не допускают даже опровержения любой данной теоретической системы в целом». Однако такой результат был бы равнозначен абсурдному утверждению о том, что любая теоретическая система в целом может быть принята как истинная а priori.

К тому же мы не видим, какие методологические гарантии мог бы предоставить Куайн против такого вывода в рамках его формулировки D -тезиса. В свете его готовности «признать, что мы имеем дело с галлюцинацией», когда наблюдения не согласуются с гипотезой, согласно которой

«на Элм-стрит имеются кирпичные дома», остается только задать вопрос, готов ли он сказать, что *все* наблюдения, сделанные людьми на Элм-стрит и противоречащие данной гипотезе, являются галлюцинациями. А если это так, то почему не отвергнуть как галлюцинации все наблюдения, не согласующиеся с любой произвольной всеобщей теоретической системой. Таким образом, дело обстоит так, что если Дюгем считает необходимым утверждать (что он и делает), что целостная теоретическая *система* может быть опровергнута с помощью противоречащих ей наблюдательных данных, тогда он должен допустить, что совпадение различных стержней в разных местах рассматриваемой области (независимо от траекторий их перемещения) может быть удостоверено путем наблюдения. Соответственным образом отсутствие деформирующих воздействий может быть установлено *независимо* от каких-либо предположений относительно геометрии.

Теперь используем наши прежние наименования и обозначим геометрию буквой H , а утверждение относительно отсутствия пертурбаций — буквой A . Тогда, раз мы установили уже дефиницию конгруэнтности и остальные семантические правила, физическая геометрия становится фальсифицируемой *сепаратно* как одно из *объясняющих* установленных эмпирических данных O' . Верно, конечно, что A является только утверждением, более или менее надежно подтвержденным с помощью недвусмысленного совпадения стержней, различных по своему химическому составу. Однако индуктивный риск, свойственный утверждению A , не возникает из постулируемой неразделимости H и A , и этот риск можно сделать крайне незначительным, не прибегая к какому бы то ни было усложнению H . Соответственно этому реальная логическая ситуация характеризуется не дюгемовской схемой, а, напротив, схемой следующего вида:

$$\{[(H \cdot A) \rightarrow O] \cdot \sim O \cdot A\} \rightarrow \sim H.$$

Сила этого контрпримера D -тезису состоит в том, что H является *сепаратно фальсифицируемой* на том основании, что в конъюнкции с вспомогательной гипотезой A , истинность которой является очевидной, H содержит *ошибочные* выводы относительно наблюдательных данных, и (постулируемые) действительные наблюдательные данные O' таковы, что относительно *любого* нетривиального A' , спо-

собного сохранить H вопреки O' , известно, что оно ошибочно в эмпирическом смысле. Ибо каждое такое A' ошибочно утверждает существование деформаций, действующих в соответствии с некоторой системой поправочных законов.

Следует отметить, что мы идентифицируем H дюгемовской схемы с геометрией. Однако, поскольку геометрическая теория, по крайней мере в ее синтетической форме, может быть аксиоматизирована как конъюнкция логически независимых постулатов, частную аксиоматизацию H можно было бы логически разложить на различные множества, компонентами которых являются субгипотезы. Так, например, можно было бы сформулировать гипотезу, выражающую геометрию Евклида как конъюнкцию двух разделов, которые соответственно представляли бы собой евклидов постулат о параллельных и постулаты абсолютной геометрии. А гипотеза, излагающая гиперболическую геометрию, могла бы быть сформулирована в форме конъюнкции абсолютной геометрии и гиперболического постулата о параллельных.

Учитывая составной в логическом отношении характер геометрических гипотез, профессор Гровер Максвелл высказал мысль, что дюгемовский тезис был бы в этой ситуации логичным, если сформулировать его не применительно к фальсифицируемости геометрии в целом, а применительно к фальсифицируемости составляющих ее субгипотез в любой данной системе аксиом. Предлагаемую интерпретацию можно истолковать двояко: во-первых, как утверждение, что *любая из составляющих* субгипотез не может быть сепаратно опровергнута, исходя из того, что эмпирические данные могут фальсифицировать только систему аксиом в целом, и, во-вторых, в любой данной системе аксиом физической геометрии существует *по крайней мере одна из составляющих* ее субгипотез, которая допускает сепаратное опровержение.

Первая версия предлагаемой интерпретации не выдерживает проверки. Так, предположим, что H представляет собой гипотезу, излагающую евклидову геометрию, и что мы рассматриваем абсолютную геометрию как одну из ее субгипотез, а евклидов постулат о параллельных — как другую. Теперь, если эмпирические данные могли бы показать, с одной стороны, что геометрия является гиперболической, тогда, конечно, абсолютная геометрия избежала бы оконча-

тельного опровержения; но если, с другой стороны, превалирующая геометрия оказалась бы сферической, тогда одна только замена евклидова постулата о параллельных постулатом сферической геометрии не смогла бы спасти абсолютную геометрию от опровержения. Ибо абсолютная геометрия логически несовместима только со сферической геометрией, а следовательно, и с постулируемыми эмпирическими данными.

Если бы кто-то попытался истолковать тезис Дюгема, согласно весьма осторожной *второй* версии предлагаемой Максвеллом интерпретации, наш анализ логической структуры процесса проверки геометрии в области, *лишенной* пертурбаций, не мог бы быть представлен как контрпример этой смягченной формы дюгемианства. И вопрос о достоверности этой крайне смягченной версии после нашего анализа остался бы, таким образом, открытым, что в свою очередь не нанесло бы никакого ущерба этому анализу.

Теперь вернемся к критике дюгемианского аргумента Эйнштейна, выдвигаемого при эмпирической детерминации геометрии пространства, в котором имеются деформирующие воздействия.

Когда существуют деформирующие воздействия, законы, используемые для внесения корректив, учитывающих эти деформации, фундаментальным образом опираются на понятия «площадь» и «объем» (то есть эти понятия содержатся в определениях упругих напряжений и растяжений), так что здесь геометрия уже предполагается, как это видно из формул, выражающих площади и объемы в дифференциальной геометрии, куда входит квадратный корень детерминанта компонент g_{ik} метрического тензора¹. Таким образом, эмпирическая детерминация подразумевает предположение относительно геометрии совместно с некоторыми дополнительными гипотезами. Однако мы уже видели, что данное предположение не может быть адекватно представлено конъюнкцией $H \cdot A$ в дюгемовской схеме, где H представляет геометрию.

Теперь предположим, что при корректировке искажений, вызываемых пертурбациями, мы исходим из системы физических законов P_0 , сформулированных на евклидовой основе, и используем скорректированный таким образом

¹ L. P. Eisenhart, *Riemannian Geometry*, Princeton: Princeton University Press, 1949, p. 177.

в евклидовом смысле стандарт конгруэнтности для эмпирического исследования геометрии пространства с помощью определения метрического тензора. *Первоначально обусловленное утверждение относительно евклидовой геометрии G_0 в физических законах P_0 , используемое для вычисления уточнений, никоим образом не гарантирует того, что геометрия, полученная с помощью скорректированных стержней, будет евклидовой!* Если она неевклидова, то возникает вопрос: какой же подгонки физических законов потребует Эйнштейн, чтобы сохранить евклидовость и избежать противоречий между теоретической системой и экспериментом? Ограничится ли регулировка в P_0 , обусловленная сохранением евклидовости геометрии, изменениями в зависимости длины перемещаемого стержня от таких непозиционных параметров, как температура, давление и магнитное поле? Или предполагаемые эмпирические данные могли бы принудить к тому, что для получения совпадений этих данных с требованием евклидовости длина перемещаемого стержня также должна быть непостоянной функцией его положения и ориентации, которые в таком случае являются независимыми переменными? Возможность получения неевклидовых результатов при измерениях, выполняемых в пространственной области, характеризующейся такими однородными стандартными условиями, как температура, давление, напряженности электрического и магнитного полей и т. д., говорит, как мы это сейчас покажем, что крайне сомнительно, чтобы сохранение евклидовости можно было получить за счет введения *зависимости длины стержня от таких независимых переменных, как положение и ориентация.*

Однако введение последней зависимости представляет собой столь радикальное изменение смысла слова «конгруэнтный», что данный термин обозначает теперь уже класс интервалов, совершенно отличный от первоначального. И такое самовольное изменение, вносимое в семантическую основу термина «конгруэнтный», нарушает требование семантической стабильности, которое, как мы видели в разделе А, является необходимым условием нетривиальности D -тезиса. Теперь подготовим почву для оценки эйнштейновой версии D -тезиса.

Под «дифференциальными» силами Рейхенбах понимает тепловые и другие воздействия на жесткие стержни, искажающие в следующем смысле их совпадения (которые

В противном случае являются единообразными): наличие дифференциальных сил делает совпадения стержней (при перемещении) зависящими от их химического состава. Поэтому стандартная физика корректирует эти дифференциальные деформации с помощью поправочных законов, где учитывается тепловое удлинение и т. д. В целях краткости мы будем говорить о жестких стержнях как о «*DP*-скорректированных», если их длины выверены относительно *дифференциальных* деформаций D на основе поправочных законов физики P (*physics*). *DP*-скорректированный парижский стержень действительно свободен от дифференциальных сил. Если P является стандартной поправочной физикой, тогда обычное соглашение о конгруэнтности может быть установлено условием о самоконгруэнтности *DP*-скорректированного парижского метрового стержня при его перемещении. И, согласно Рейхенбаху, именно данный стандарт конгруэнтности, который обеспечивается несканженными дифференциальными силами стержнем (или его эквивалентом), следующим образом составляет основу геометрии стандартной пространственной физики. *DP*-скорректированные совпадения стержня (или его эквивалента) дают систему g'_{ik} в пределах обычной индуктивной неточности, присущей ограниченным данным *vis-à-vis* неограниченного пространства точек.

Рейхенбах отрицал следующее требование *D*-тезиса: все действительные и возможные эмпирические данные обеспечивают достаточный простор для замены поправочной стандартной физики P новой физикой Φ , которая гарантирует, что 1) *совпадение повсюду самоконгруэнтного $D\Phi$ -скорректированного стержня всегда* будет приводить к предварительно выбранному тензору g'_{ik} , и 2) все деформации Φ -физики являются *дифференциальными* в рейхенбаховском смысле. Поскольку Рейхенбах сформулировал это отрицание в книге «Возникновение научной философии» («*The Rise of Scientific Philosophy*», Berkeley, 1951, p. 135), не приводя какой-либо аргументации, мы намерены доказать ошибочность *D*-тезиса. Предположим, что дюгемиевец имеет произвольно выбранный строго определенный евклидов метрический тензор g'_{ik} и намеревается представить гарантию того, что существует поправочная физика Φ , которая должна охватывать как законы, так и *граничные условия*. Причем и законы и условия в случае некоторой локальной области, такой, как наша поверхность стола, обладают следующими свойст-

вами: 1) конъюнкция произвольно выбранного метрического тензора g'_{ik} (и, следовательно, связанной с ним строго неевклидовой геометрии) с искомой обеспечивает описание совпадений стержня, эквивалентное описанию, базирующемуся на конъюнкции евклидова метрического тензора g_{ik} с поправочными законами и граничными условиями P стандартной геометрии и физики применительно к подобным локальным областям, 2) нестандартный неевклидов метрический тензор g'_{ik} получается в результате повсеместной самоконгруэнтности DP -скорректированного стержня так же, как и стандартный евклидов метрический тензор g_{ik} является результатом самоконгруэнтности DP -скорректированного стержня, и деформации Φ -физики всегда являются дифференциальными в смысле Рейхенбаха. Для того чтобы оценить выполнимость искомой физики Φ , мы рассмотрим относительно простой идеализированный случай, когда наша поверхность стола подвержена только тепловым возмущениям в течение некоторого периода времени и никаких иных дифференциальных сил не существует. Тогда мы должны выяснить правомерность конъюнкции Φ , в которой действует иной закон линейного теплового расширения, с термическими граничными условиями, согласно чему (i) $D\Phi$ -скорректированный самоконгруэнтный стержень привел бы к неевклидову метрическому тензору g'_{ik} и Φ -плюс- g'_{ik} описание совпадений стержня было бы эквивалентно с P -плюс- g_{ik} описанием.

Точнее говоря, если на поверхность стола нанесена сетка прямоугольных координат, то пусть g'_{ik} будет метрическим тензором гиперболической метрики $ds^2 = (dx^2 + dy^2)/y^2$. Предположим далее, что в то же самое или в какое-то другое время точки на линии $y = 1$ так же, как и точки на линии $y = 2$, находятся в условиях стандартной температуры T_0 обычной физики, при которой хранится метровый стержень в Париже, или в условиях какой-то иной идентичной температуры T_1 в пределах диапазона ΔT , такого, что удовлетворительным в первом приближении является следующий поправочный закон стандартной физики P :

$$L = L_0(1 + \alpha \cdot \Delta T),$$

где L_0 — длина тела при стандартной температуре; ΔT — отклонение от стандартной температуры T_0 ; α — коэф-

фициент зависимости от химического состава стержня и L — длина при температуре $T_0 + \Delta T^1$.

Будем пользоваться парижским стержнем таким образом, что L_0 в нашем примере равно 1 метру. Рассмотрим два положения стержня: в положении 1 он лежит полностью на линии $y = 1$, и в положении 2 он полностью лежит на линии $y = 2$. В каждом положении прямоугольные координаты интервалов, с которыми стержень будет совпадать, отличаются друг от друга только по отношению к координате x , так как dy равно нулю.

Каковы будут тогда совпадения парижского стержня вдоль $y = 1$ и $y = 2$ соответственно, согласно предполагаемой истинности g_{ik} -плюс- P описания, где $ds^2 = dx^2 + dy^2$? И каким должен быть характер нестандартной физики тепловых явлений Φ , которая должна функционировать в эквивалентном описании, где $D\Phi$ -скорректированный самоконгруэнтный парижский стержень приводит к гиперболическому тензору g'_{ik} ?

Согласно g_{ik} -плюс- P описанию, как на линии $y = 1$, так и на линии $y = 2$, стержень будет совпадать с интервалами, для которых $dx = 1$, если T равно T_0 в каждом из этих мест, а все нетермические дифференциальные силы пренебрежимо малы. Но если температура T стержня имеет одинаковую величину T_1 , отличную от T_0 в каждом из этих двух мест, тогда стержень будет совпадать вместо этого с интервалами, для которых $dx = 1 + \varepsilon$ как на $y = 1$, так и на $y = 2$, где $\varepsilon = \alpha (T_1 - T_0)$. Конечно, здесь предполагается, что только сам стержень имеет более высокую температуру $T_1 > T_0$ в $y = 1$ и $y = 2$. Поверхность же стола, на которой расположены точки координатных отметок x и y , предполагается здесь находящейся в условиях стандартной температуры, причем предполагается также, что она изолирована от стержня в первый момент их совпадения.

Как же должна отличаться рассматриваемая физика тепловых явлений Φ от стандартной физики P , о которой речь шла выше, если эти же самые совпадения как в $y = 1$,

¹ Как мы покажем позднее, аргумент относительно ссылки на приближенное выражение закона является неуместным, ибо данный случай легко обобщить на те формулировки закона, которые допускают температурную зависимость от степени теплового расширения и, следовательно, содержат более чем один коэффициент теплового расширения.

так и в $y = 2$ должны быть в согласии с гиперболической метрикой $ds'^2 = (dx^2 + dy^2)/y^2$. Φ -плюс- g_{ik} описание пользуется своей собственной шкалой температур T' . Как нам покажет ниже уравнение (2), новая температура T' связана некоторым преобразованием $T' = f(T, x^i)$ с T -шкалой P -физики, где x^i выражает пространственные координаты. Не следует удивляться тому, что значения температуры, определенные по T' -шкале, будут зависеть не только от значений температуры T в P -физике, но также и от пространственных координат. Ибо T -шкала связана с евклидовой пространственной метрикой g_{ik} , тогда как T' -шкала связана с метрикой гиперболического пространства g'_{ik} : термометрический ртутный столбик, имеющий одинаковую длину в $y = 1$ и в $y = 2$ в метрике g_{ik} , не будет иметь одинаковую длину в этих двух местах в метрике g'_{ik} . И поскольку парижский стержень данной α , который *при одной и той же* температуре T , отличной от T_0 , в $y = 1$, а затем в $y = 2$ испытывает *одинаковое* g_{ik} -удлинение в этих обоих местах, он не может обладать одной и той же g'_{ik} -длиной ds' в этих двух местах и, следовательно, не оказывается в условиях одинаковой температуры по T' -шкале.

Если совпадения самоконгруэнтного эталонного парижского стержня удовлетворяют *гиперболической* метрике в случае $\Delta T' = 0$, то только в этом случае интервалы, для которых $\sqrt{dx^2 + dy^2} = y$, могут обладать единичной длиной $ds' = 1$. Следовательно, Φ -плюс- g_{ik} описание утверждает далее, что если *единичный парижский метровый стержень* не подвергается термической (или какой-либо другой дифференциальной) деформации, то есть если стержень находится в условиях стандартной температуры T'_0 по T' -шкале, тогда этот стержень совпадает с $dx = 1$ при $y = 1$. И Φ -плюс- g'_{ik} описание утверждает далее, что при условии $\Delta T' = 0$, то есть при исчезающе малых дифференциальных силах, тот же эталонный стержень совпадал бы с интервалом $dx = y$ на любой линии $y = \text{const}$, где $dy = 0$. Таким образом, когда $\Delta T' = 0$, стержень будет совпадать с $dx = 10$ на $y = 10$ и с $dx = 100$ на $y = 100$.

Ясно, что любым приращениям координатных интервалов dx и dy , которым евклидова метрика приписывает длины $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$, будут, вообще говоря, приписываться иные длины $ds' = \sqrt{dx^2 + dy^2}/y$ гиперболической метрикой. Парижский стержень, лежащий на линии $y = \text{const}$,

который обладает иной температурой ΔT и имеет длину $ds = L = 1 + \alpha \cdot \Delta T$ в P -плюс- g_{ik} описании, имел бы вообще иную длину $ds' = L' = (1 + \alpha \cdot \Delta T)/y$ в Φ -плюс- g'_{ik} описании. Однако в последнем описании L' также бы задавалось

$$L' = 1 + \alpha' \cdot \Delta T',$$

где α' и $\Delta T'$ являются Φ -плюс- g'_{ik} двойниками α и ΔT . Приравнивая эти два выражения L' , мы получаем следующее выражение для деформации $L' - 1$, испытываемой парижским стержнем

$$L' - 1 = \alpha' \Delta T' = \alpha' (T' - T_0) = 1/y + \frac{\alpha \cdot \Delta T}{y} - 1. \quad (1)$$

Это уравнение приводит к следующим *решающим результатам*.

Рассмотрим пространственные точки, которые находятся в условиях стандартной температуры T_0 P -физики, так что $\Delta T = 0$. В этом случае стержень имеет длину $ds = 1$ в P -плюс- g_{ik} описании и длину $L' = 1/y$ в Φ -плюс- g'_{ik} описании. В *любой* из таких точек пространства (x, y) , отличных от тех, которые находятся на $y = 1$ (или на $y = 0$), все парижские стержни — *независимо от их химического состава* — испытывают *одинаковую деформацию*

$$\alpha' \cdot \Delta T' = \frac{1}{y} - 1$$

под влиянием отклонения $\Delta T'$ температуры T' в данной точке от стандартной для T' -шкалы температуры T_0 . Но это показывает, что в случае $\Delta T = 0$ сила, действующая на стержень, которая появляется в результате «термического» с точки зрения Φ -физики отклонения $\Delta T'$, не является дифференциальной силой!

Решим уравнение (1) для температуры T' Φ -физики, напомнив, что $\Delta T = T - T_0$. В таком случае мы получим

$$T' = T_0 + \frac{1}{\alpha' y} + \frac{\alpha}{\alpha' y} T - \frac{\alpha}{\alpha' y} T_0 - \frac{1}{\alpha'}. \quad (2)$$

Из этого уравнения T' определяется таким образом, как будто бы является функцией как P -физической температуры T , так и пространственной координаты y . На самом деле уравнение (2) показывает, что температура Φ -физики T' будет иметь стандартную величину T_0 в любой точке

пространства y , где температура Φ -физики имеет величину

$$T = \frac{y-1}{\alpha} + T_0. \quad (3)$$

Ибо P -физика говорит нам, что именно в точках пространства y , где эта температура T преобладает, парижский стержень будет совпадать на линии $y = \text{const}$ с интервалом, которому метрика $ds' = \sqrt{(dx^2 + dy^2)}/y^2$ приписывает единицу длины. Поскольку условие (3) сводится к $T = T_0$ только в $y = 1$, мы видим, что только в $y = 1$ Φ -плюс- g'_{ik} и P -плюс- g_{ik} описания могут быть *согласны* в том, что парижский стержень находится в условиях стандартной температуры, каковой являются T_0 и T_0 соответственно. Ибо только в $y = 1$ обе метрики могут быть согласны в том, что длина парижского стержня равна единице.

Между прочим, (3) показывает, что температуры по T -шкале необходимы на линиях, где y велико, чтобы стержень совпадал там с интервалами, имеющими g'_{ik} -длину $ds' = 1$, они, возможно, не были бы совместимы с сохранением стержня как жесткого тела: поддержание стандартной для Φ -физики температуры T_0 растопило бы (или даже испарило) стержень.

Кроме того, рассмотрим точки *на любой* данной линии y_k , *отличной от* $y = 1$. Уравнение (3) говорит нам, что два различных по химическому составу стержня, коэффициенты термического удлинения которых соответственно P -физике имеют различные значения α_1 и α_2 , имея, согласно T -шкале, *различную* температуру

$$T_{\alpha_1} = \frac{y_k - 1}{\alpha_1} + T_0$$

и

$$T_{\alpha_2} = \frac{y_k - 1}{\alpha_2} + T_0,$$

находились бы *оба* в условиях стандартной для Φ -физики температуры T_0 .

Если парижский стержень находится при стандартной для P -физики температуре T_0 в какой-либо точке пространства, *отличной от* $y = 1$, тогда условие (3) указывает, что в этой же точке он не будет находиться при стандартной для Φ -физики температуре T_0 . И во всех таких точках стержень будет подвержен «тепловой» деформации, чтобы иметь длину $ds' = (1/y) \neq 1$ *независимо от его химического*

состава. Следовательно, мы вновь видим, что Φ -плюс- g'_{ik} описание уплачивает следующую цену за попытку обосновать свою физику тепловых явлений Φ на $D\Phi$ -скорректированном самоконгруэнтном парижском стержне, который должен обеспечить гиперболический метрический тензор g'_{ik} на поверхности стола: *это описание не допускает оценки своих «термических сил» как дифференциальных сил*. Этот вывод не противоречит, конечно, тому, что в точке, где $T \neq T_0$, так что $\Delta T \neq 0$, деформация $\alpha' \cdot \Delta T'$, испытываемая стержнем, зависит не только от его расположения, но также и от его химического состава. Ибо в этом случае имеется исчезающая зависимость от α .

Было бы тщетным пытаться обеспечить дифференциальный характер термических сил Φ -плюс- g'_{ik} описания с помощью уловки, использующей ту же самую шкалу температур T , что и в P -физике, и вводя одновременно зависимость от пространства $\alpha' = \alpha \cdot F(x^i)$ в уравнение

$$L' = 1 + \alpha' \cdot \Delta T. \quad (4)$$

Ибо хотя эта уловка и могла бы сработать для $\Delta T \neq 0$, она приведет к неудаче при $\Delta T = 0$. В последнем случае (4) имело бы своим следствием требование, что стержень должен иметь g'_{ik} -длину $ds' = 1$ в любой точке y при тех же стандартных термических условиях, при которых он имеет g_{ik} -длину $ds = 1$.

Однако логически невозможно, чтобы эталонный стержень, находящийся в условиях стандартной температуры T_0 , удовлетворял как евклидовой, так и гиперболической метрике в точках, отличных от $y = 1$. Чтобы устранить это противоречие и получить g'_{ik} -поведение в ситуации с температурной шкалой T , было бы необходимо видоизменить (4) следующим образом:

$$L' = F(x^i) [1 + \alpha \cdot \Delta T], \quad (5)$$

где $F(x^i)$ — функция пространственных координат x^i , заданных с помощью $F(x^i) = 1/y$ в случае нашей частной гиперболической метрики.

Однако, согласно (5), длина термически *недеформированного* стержня *не является* повсюду единой; напротив, длина этого дифференциально недеформированного стержня *безотносительно к его химическому составу* изменяется точно *таким же* образом совместно с независимой переменной, выражающей положение в пространстве. И такая

ревизия физики тепловых явлений P является следствием отречения дюгемианца от признания того, что существует эквивалентное описание Φ -плюс- g_{ih} , где дифференциально недеформированный парижский стержень имеет повсюду одну и ту же длину, то есть повсюду является самоконгруэнтным, что и приводит к гиперболическому метрическому тензору.

Мы должны теперь защититься от попытки спасти дифференциальный характер термических сил, в которых нуждается Φ -плюс- g'_{ih} описание, с помощью введения того, что является новой температурной шкалой T' только по наименованию и имеет следствием законодательное удаление термического граничного условия $\Delta T = 0$ из P -физики в пользу соответствующего иного условия $\Delta T \neq 0$ по T -шкале, поскольку это требуется, чтобы вывести метрический тензор g'_{ih} из описывающего деформации закона (4). Ясно, что такая операция представляет собой недопустимую *deus ex machina*, поскольку такие температурные флуктуации, при которых стандартная температура T_0 преобладала бы в различных точках пространства в то или иное время, нельзя а priori исключить при помощи декрета. Дюгемианец просто не может изобрести такие источники тепла, с помощью которых можно было бы получить тепловые граничные условия, соответствующие совпадениям стержней и удовлетворяющие требованиям его тезиса.

Выше мы видели, ссылаясь на уравнение (1), что в случае $\Delta T = 0$ сила, действующая на стержень, которая возникает из «теплового» отклонения Φ -физики $\Delta T'$, не является дифференциальной силой. Ясно, что последовало бы такое же заключение, если бы кто-то захотел приравнять деформацию $L' - 1$ не одному члену $\alpha' \cdot \Delta T'$, как это делается выше, а сумме ряда таких членов

$$\alpha' \Delta T' + \beta' (\Delta T')^2 + \gamma' (\Delta T')^3 + \dots$$

Отсюда, видимо, следует, что по крайней мере при сверхупрощенных условиях, когда тепловые силы являются только дифференциальными силами, рейхенбаховское отрицание дюгемианского тезиса является правильным.

Итак, чтобы сохранить евклидов характер пространства, нужно было бы ввести иную метрику в смысле отказа от обычной дефиниции конгруэнтности независимо от каких-либо соображений относительно идиосинкразических возмущений и даже после введения тем или иным путем

поправок на них. Однако подобный способ введения новой метрики, хотя он и допустим в иных ситуациях, не обеспечивает нужного подтверждения дюгемианского тезиса Эйнштейна! Так как Эйнштейн выдвинул его в качестве возражения против концепции Рейхенбаха, то тем самым признается, что этот тезис должен доказывать, что геометрию саму по себе нельзя рассматривать как эмпирическую науку, то есть как науку, которая допускает сепаратную фальсификацию даже в том случае, когда мы в соответствии с Рейхенбахом уже убедились, что эмпирический характер достигается путем выбора и последующего сохранения обычной (стандартной) дефиниции пространственной конгруэнтности, что исключает возможность введения иной метрики.

Таким образом, легко могут быть получены наблюдаемые данные O' , выражаемые с помощью частной дефиниции конгруэнтности (то есть обычной конгруэнтности), которые таковы, что невозможна никакая нетривиальная система A' истинных дополнительных предположений, позволившая бы отстоять евклидову H перед лицом O' . И один только этот результат достаточен, чтобы опровергнуть эйнштейнову версию тезиса Дюгема, согласно которому можно сохранить любую геометрию перед лицом любых экспериментальных данных, полученных исходя из обычной дефиниции конгруэнтности.

Могло показаться, что наш геометрический контрпример против дюгемовского тезиса о неизбежной в данной ситуации фальсифицируемости *объясняющих* уязвим против следующей критики: «Конечно, точное геометрическое изложение Эйнштейном этого тезиса не исключает возможности спасения его на основе изменения метрики в том смысле, что длина стержня должна быть переменной в зависимости от его положения и ориентации, даже *после* того как она была уточнена в соответствии с идиосинкразическими возмущениями. Но почему на тезис Дюгема, как таковой, должно накладываться ограничение, присущее его частной версии, которая была предложена Эйнштейном? И почему, следовательно, не позволить Дюгему спасти свой тезис, санкционировав те изменения в дефиниции конгруэнтности, которые связаны с введением иной метрики?»

Наш ответ сводится к следующему: причиной несостоятельности попыток спасти тезис Дюгема на основе подобного изменения дефиниции конгруэнтности в данной ситуации является отнюдь не чрезмерное требование доказать

справедливость этого тезиса в рамках его частной версии, предложенной Эйнштейном. Напротив, наложение данного ограничения является здесь вполне законным, и сторонник Дюгема вряд ли мог бы выразить желание отвергнуть его как необоснованное. Ибо суть концепции Дюгема в том и состоит, что H (в данном случае евклидову геометрию) всегда можно сохранить не путем внесения произвольных изменений в главные правила семантики (интерпретационные предложения), связывающие H с наблюдательной основой (то есть правил, точно определяющих частный класс конгруэнтных отрезков и т. д.), а воспользовавшись ссылкой на *индуктивную свободу* (latitude), которая открывается перед нами благодаря неопределенности экспериментального доказательства, и поступить следующим образом: а) оставить фактуальные обязательства H в основном *неизменными*, сохранив как высказывания H , так и главные правила семантики, связав их термины с наблюдательной основой, и б) заменить множество A множеством A' таким образом, чтобы A и A' были логически несовместимы при наличии гипотезы H . *Употребление терминов «главный» (principal) и «основной» (essential) необходимо здесь для того, чтобы устранить возможные возражения, что с логической точки зрения нельзя заменять вспомогательные предположения A предположениями A' , не изменив также в некотором отношении и фактуального содержания H .* Предположим, например, что кто-нибудь отказался бы от оптической гипотезы A , согласно которой свету потребуется одинаковое время, чтобы пройти конгруэнтные замкнутые траектории в инерциальной системе, в пользу какой-то конкурентной гипотезы. Тогда семантическое соединение термина «конгруэнтные пространственные интервалы» с наблюдательной основой изменится до такой степени, что этот термин уже не будет больше обозначать интервалы, проходимые светом туда и обратно за равные промежутки времени. Однако такое изменение в семантике слова «конгруэнтный» несущественно в данной ситуации, поскольку оно *оставляет полностью нетронутым принадлежность к классу пространственных интервалов, который обозначается как класс «конгруэнтных интервалов».* Тогда модификация оптической гипотезы в этом смысле оставляет нетронутыми как «главные» правила семантики, которым подчиняется термин «конгруэнтный», так и «основное» фактуальное содержание геометрической гипотезы H , кото-

рая основывается на частном классе конгруэнтных интервалов. Это «основное» фактуальное содержание состоит в том, что относительно конгруэнтности, точно определяемой перемещением недеформируемых стержней, геометрия, между прочим, является евклидовой.

Далее, основное фактуальное содержание геометрической гипотезы можно изменить, либо сохранив ее исходное утверждение, изменяя при этом одно или большее количество «главных» правил семантики, либо оставив все правила семантики нетронутыми и изменяя соответствующим образом исходное утверждение гипотезы. Таким образом, мы видим, что при сохранении евклидовой H , с помощью введения иной метрики, правила семантики, которым подчиняется смысл термина «конгруэнтный» (для линейных отрезков), приводит к сохранению не основных *фактуальных обязательств* исходной евклидовой H , а только ее *лингвистических украшений*. То, что «сохраненная» таким образом евклидова H на самом деле отрекается, по существу, от фактуальных обязательств *исходной* евклидовой гипотезы, ясно из следующего: исходная евклидова H утверждала, что в отношении совпадения поведение всех видов твердых стержней является евклидовым, если перемещение этих стержней рассматривается как физическая реализация конгруэнтных интервалов; однако евклидова H , выдержавшая сопоставление с установленными эмпирическими данными только в силу *введения иной метрики*, покоится на отрицании именно того утверждения, которое делалось в исходной евклидовой H и которое следовало «сохранить». Это подобно тому, как если бы врач, обнаружив во время операции ошибочность своего априорного диагноза, согласно которому у пациента острый приступ аппендицита, стремился бы следующим образом доказать его справедливость: он бы ввел новое определение, согласно которому «острый приступ аппендицита» обозначает аппендикс в его обычном здоровом состоянии!

Следовательно, границы, в рамках которых сторонник Дюгема должен доказать обоснованность своей претензии сохранить евклидову H , не допускают никаких изменений в дефиниции конгруэнтности, и только при этом условии его претензия становится логичной с эмпирической точки зрения. Поэтому убедительность критики тезиса Дюгема, которая дана здесь, не зависит от ограниченности, свойственной эйнштейновскому варианту этого тезиса.

Даже независимо от того факта, что тезис Дюгема не допускает введения иной метрики, которое позволило бы ему избежать опровержения в нашем примере с геометрией, сама допустимость введения иной метрики вытекает не из каких-то общих дюгемовских соображений относительно логики процедуры фальсификации, а из свойства, имеющего отношение к предмету исследования геометрии (и хронометрии). Когда в непрерывных многообразиях физического пространства (или времени) интервалам приписывается отношение пространственного (или временного) равенства, то для соглашений все же остается известное поле деятельности.

Предшествующие критические замечания в адрес геометрического *D*-тезиса не зависят от нашего умения точно определять наличие гарантированной способности установить обычную конгруэнтность.

Однако какой вывод следует из возможности действительно вывести (в пределах точности эксперимента) уникальную основную геометрию из системы гипотез, которые входят в проверочные процедуры?

Коль скоро мы отказались от каких-либо иных дефиниций конгруэнтности, которыми пользовался Пуанкаре, то вопреки Дюгему и Эйнштейну геометрию саму по себе можно сделать эмпирической наукой. И это видно из следующих возможностей успешного эмпирического построения геометрии. Предположим, что после построения неевклидовой геометрии G_1 с помощью измерений, осуществленных стержнями, которые корректируются сформулированными на основе евклидовой геометрии физическими законами P_0 , мы можем так пересмотреть P_0 , чтобы они удовлетворяли неевклидовой геометрии G_1 , которая только что получена нами путем измерений. Эта обратная ревизия P_0 привела бы к пересчету на основе G_1 таких величин, как площади и объемы, и к изменениям функциональных зависимостей, связывающих их с температурой и другими физическими параметрами. Обозначим с помощью P'_1 систему физических законов P , которая получена в результате такого пересмотра P_0 и которую нам нужно объединить с геометрией G_1 . Далее, поскольку различные физические величины, являющиеся ингредиентами P'_1 , содержат в себе и длину и длительность, мы используем эту систему P'_1 для уточнения стержней (и часов) с тем, чтобы после такого уточнения эти стержни и часы

удовлетворяли системе P'_1 . Если же это не достигается, то необходимо произвести такую модификацию в данной системе законов, чтобы функциональные зависимости между величинами, составляющими эту систему, отражали новые стандарты пространственной и временной конгруэнтности, которая определяется стержнями и часами, уже уточненными согласно P'_1 . Таким образом мы получаем новую систему физических законов P_1 . Теперь используем эту систему законов P_1 для внесения поправок в длины стержней применительно к тем деформирующим воздействиям, которые они испытывают, и затем определим геометрию с помощью уточненных таким образом стержней. Предположим, что в результате получается геометрия G_2 , отличная от G_1 . Тогда, если после неоднократного повторения этого процесса, разбитого на два этапа, существует сходимость к геометрии постоянной кривизны, то мы должны продолжать повторение этого процесса еще некоторое, но конечное, число раз до тех пор, пока не придем к следующему: геометрия G_n , которая входит в законы P_n и обеспечивает основу корректировки относительно деформаций, является той же самой (в пределах точности эксперимента), что и геометрия, полученная путем измерений, производимых с помощью стержней, которые были уточнены с помощью системы P_n .

Если вообще имеется такая сходимость, то геометрия G_n может быть одной и той же даже в том случае, если физические законы, используемые для внесения первоначальных поправок, являются не законами системы P_0 , которая предполагает евклидову геометрию, а законами какой-то другой системы P , основанной на той или иной неевклидовой геометрии. Таким образом, здесь может быть только одна такая геометрия постоянной кривизны G_n , идентичная уникальной основной геометрии G_t , которая характеризуется следующими свойствами: 1) G_t могла бы быть установлена путем совпадения перемещаемых стержней в том случае, если бы все пространство в целом было на самом деле свободно от деформирующих воздействий; 2) G_t была бы получена путем измерений, которые осуществляются с помощью стержней, уточненных относительно возмущений на основе физических законов P_t , предполагающих G_t , и 3) можно было бы обнаружить, что G_t превалирует в данной, относительно небольшой, свободной от пертурбаций области пространства совершенно независимо

от предполагаемой геометрии, которая является ингредиентом уточняющих физических законов. Следовательно, *если* наш метод последовательных приближений сходится на геометрии G_n постоянной кривизны, тогда G_n может быть этой уникальной основной геометрией G_t . И в таком случае мы могли бы утверждать, что мы эмпирически с обычной индуктивной неуверенностью нашли G_t , то есть ту геометрию, которая на самом деле превалирует во всем том пространстве, которое мы исследуем.

А что, если никакой сходимости не существует? Ведь может случиться так, что поскольку для получения сходимости нужно начинать с уточнений, основанных на системе физических законов P_0 , то ее *нельзя* было бы достигнуть в том случае, если бы уточнения начинали, исходя вместо этой системы законов из какой-то иной частной неевклидовой системы P , и наоборот. Именно так это и происходит в случае ньютонова метода последовательных приближений¹, где имеются условия, на что обратил мое внимание А. Сане, при которых не будет никакой сходимости. Тем не менее, *если* наше пространство имеет постоянную кривизну, мы могли бы следующим образом добиться успеха в нахождении эмпирическим путем геометрии G_t . Геометрия G_r , вытекающая из измерений, осуществленных с помощью уточненного стержня, является однозначной функцией геометрии G_a , предполагаемой в поправочных физических законах, и лапласовский гений, который обладает достаточными знаниями о происходящих в мире фактах, знал бы и эту функцию $G_r = f(G_a)$. В соответствии с этим мы можем сформулировать проблему эмпирической детерминации геометрии как проблему нахождения некоторой точки пересечения между кривой, представляющей эту функцию, и прямой $G_r = G_a$; *если* существует одна и только одна такая точка пересечения, то мы нашли определенную выше геометрию G_t , свидетельствующую о том, что наше пространство есть пространство постоянной кривизны. Таким образом, нам сейчас нужно найти определения G_r , соответствующие числу различных с геометрической точки зрения систем уточняющих физических законов P_a , и вывести наиболее приемлемую кривую $G_r = f(G_a)$ с помощью этого конечного числа точек (G_a , G_r), а затем

¹ Р. Курант, Курс дифференциального и интегрального исчисления, Гос. техн.-теор. изд., М.—Л., часть I, 1933, стр. 309—312.

найти точку пересечения этой кривой и прямой линии $\widehat{G}_r = G_a$. Ответ на вопрос, будет ли эта точка пересечения представлять евклидову геометрию или нет, находится вне сферы наших соглашений, запрещающих введение иной метрики. И таким образом, мы можем по крайней мере сделать вывод, что, поскольку эмпирические данные весьма сужают степень неопределенности превалирующей геометрии, ничто не гарантирует существование той свободы выбора геометрии, которую Эйнштейн, следуя *D*-тезису, считал само собой разумеющейся. Дюгемиянская позиция Эйнштейна была бы, по-видимому, неуязвима для этих дополнительных критических замечаний только в том случае, если предлагаемый нами метод детерминации геометрии, исходя из нее же самой, не допускает эмпирического обобщения, которое позволило бы распространить его на случай общей теории относительности с пространством переменной кривизны, и если бы была доказана истинность этой теории. Распространение нашего метода на случай геометрии пространства переменной кривизны является далеко не простым делом, ибо здесь геометрия G больше не представляется единственным скаляром, который задается гауссовой кривизной, и наш графический метод оказывается неприменимым. Однако последовательность геометрий может быть содержательным образом сведена к геометрии *переменной* кривизны. И поэтому понятие сходящейся последовательности геометрий *не* нужно ограничивать геометриями постоянной кривизны, каждая из которых может быть представлена единственным числом (гауссовой кривизны). Ибо в случае переменной кривизны может существовать сходимость к частному множеству функций g_{ik} в следующем смысле: в каждой точке пространства существует сходимость к некоторому частному значению для каждого g_{ik} , если последнее *не* зависит от времени.

Если было бы доказано, что предлагаемый нами метод, позволяющий избавиться от дюгемовской неопределенности, несостоятелен, и если бы случилось так, что нельзя найти никаких других убедительных в научном отношении путей, чтобы избавиться от этой неопределенности, тогда, как мне кажется, мы должны были бы неизбежно смириться с наличием этой относительно широкой неопределенности. Нет, говорит философ Жак Маритен, который призывает нас не падать духом. Если *наука* не может дать нам правильного геометрического описания внешней реальности,

то отсюда еще не следует, говорит он, что философия независимо от математической физики не может вывести нас из лабиринта дюгемианских сложностей и раскрыть структуру того, что он называет *ens geometricum reale* (единственная геометрическая реальность)¹. В отличие от концепции Маритена относительно способности философии как инструмента познания я бы хотел поддержать следующее превосходное заявление профессора Бриджмена: «Физик *не* сказал бы, что его знание, по-видимому, не дает полного понимания реальности по той причине, что, кроме того познания, с которым он имеет дело, имеются еще и другие виды знания»². Чтобы объяснить, почему я в данной ситуации согласен с этим высказыванием профессора Бриджмена, я дам краткую критическую оценку философии геометрии Маритена, которая изложена в его книге «Ступени познания»³.

Я выбрал для опровержения взгляды Маритена именно потому, что эта концепция типична для тех, кто полагает, что философ, как таковой, имеет в своем распоряжении средства для понимания структуры внешней реальности, которые не доступны ученому. В общих чертах линия рассуждений Маритена относительно геометрии состоит в следующем. Он говорит: «Нет никакого более ясного слова, чем слово «реальность», которое означает, что что-то есть... Какой смысл имеет вопрос, является ли реальное пространство евклидовым или неевклидовым...?»⁴ Прежде чем ответить на этот вопрос, он дает такое разъяснение: «Слово *реальный* имеет не одно и то же значение для философа, математика и физика...»⁵ Для физика пространство «реально», когда геометрия, которой оно соответствует, допускает построение физико-математического универсума, соответствующим образом полностью символизирующего физические явления, и где все градуированные показания наших приборов находят «объяснение» сами собой. Очевидно, что с этой точки зрения никакой вид пространст-

¹ J. Maritain, *The Degrees of Knowledge*, London: G. Bles Co., 1937, p. 207.

² P. W. Bridgman, *The Nature of Physical «Knowledge»*, в: L. W. Friedrich (ed.), *The Nature of Physical Knowledge*, Bloomington: Indiana University Press, 1960, p. 21.

³ J. Maritain, *The Degrees of Knowledge*, pp. 201—212.

⁴ *Ibid.*, p. 201.

⁵ *Ibid.*

ва не получает какого бы то ни было привилегированного положения¹. Однако... теперь встает вопрос, каким является реальное пространство в философском значении этого слова, то есть как «реальная» сущность... обозначающая предмет мысли, способный к существованию вне психического (*extra-mental*)...»². Здесь сразу же возникает недоумение, почему Маритен считает, что его различие между физически реальным пространством и философски реальным пространством, которое прямо признается им внепсихическим, не является пустым, то есть не выражающим никакого различия. И это недоумение не только не исчезает, а, наоборот, усиливается, когда он говорит нам, что под *внепсихическими геометрическими* свойствами существования тел он понимает «те свойства, которые разум узнает при элиминации всего физического»³. Но отложим пока приговор относительно этой трудности и посмотрим, не проясняется ли ответ на следующий вопрос, поставленный самим Маритеном: как мы можем узнать, евклидовой или неевклидовой геометрией выражается структура реального с философской точки зрения, то есть внепсихического, или внешнего, пространства?⁴ По этому поводу он высказывает такие соображения.

Во-первых, способность физических измерений дать ответ на этот вопрос равна нулю⁵, потому что геометрия уже предполагается в теории наших измерительных инструментов, на ее основании вносятся поправки, учитывающие «второстепенные изменения, являющиеся следствием различных физических обстоятельств»⁶. На самом деле мы видим, что это утверждение является по форме строго дюгемианским, хотя Маритен и не ссылается на Дюгема.

Во-вторых, непротиворечивость различных неевклидовых геометрий зависит от их формальной переводимости в евклидову геометрию. На эту переводимость оказывает влияние создание евклидовой модели определенной частной неевклидовой геометрии в смысле вложения соответствующим образом искривленной неевклидовой поверхности в трехмерное евклидово пространство. И привилегированное положение,

¹ J. Maritain, *The Degress of Knowledge*, p. 202.

² *Ibid.*, p. 203.

³ *Ibid.*, p. 207.

⁴ *Ibid.*, p. 204.

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*, p. 205.

которым пользуется евклидова геометрия как гарант непротиворечивости неевклидовых геометрий, является, таким образом, в свою очередь результатом соответствующей зависимости интуитивной ясности (intuitability) неевклидовых геометрий от более фундаментальной (primary) интуитивной ясности евклидовости трехмерного гиперпространства, в которое они вкладываются¹.

Используя двойную аргументацию с точки зрения непротиворечивости и интуитивной ясности, Маритен приходит к следующему конечному выводу.

Неевклидовы пространства могут в таком случае без малейшего внутреннего противоречия быть предметом рассмотрения разума, однако было бы противоречивым предполагать их существование вне разума, поэтому не следует допускать, что существуют какие-либо основания, на которые опирается понятие неевклидовых пространств.

И так и эдак мы склонны допустить, что эти неевклидовы пространства, несмотря на то, что ими пользуется астрономия, являются рациональными [то есть *чисто мысленными*] сущностями и что *геометрические* свойства существующих тел, познаваемые разумом при элиминировании всего физического, являются свойствами, характеризующими евклидово пространство. Для философии именно евклидово пространство представляется как некое *ens geometricum reale* (единственная геометрическая реальность)².

Мы осмеливаемся утверждать, что тезис Маритена ошибочен по существу и его следует полностью отвергнуть по следующим соображениям.

Как это было разъяснено Гильбертом и Бернайсом³, непротиворечивость евклидовой системы аксиом не есть следствие ее собственного интуитивного правдоподобия как адекватного описания пространства нашего непосредственного физического окружения. Напротив, мы устанавливаем непротиворечивость евклидовой геометрии, построив модель формальных евклидовых постулатов в области вещественных чисел с помощью методов аналитической геометрии⁴. Далее, Маритен упускает из виду, что точно такую же методику построения модели в вещественных числах можно использовать для установления внутренней непроти-

¹ J. Maritain, *The Degress of Knowledge*, p. 202, 205—206.

² *Ibid.*, p. 206—207.

³ D. Hilbert and P. Bernays; *Grundlagen der Mathematik*, Berlin: Julius Springer, 1934, Vol. I, § 1, Abt. A, S. 2—3.

⁴ См.: L. P. Eisenhart, *Coordinate Geometry*, New York: Dover Publications, 1960, приложение к главе первой, стр. 279—292.

воречивости различных неевклидовых геометрий, не задумываясь над предварительным переводом их в евклидову геометрию (кроме возможных случаев, когда это имеет эвристический смысл, но которые к данной проблеме отношения не имеют). Его ввел в заблуждение тот факт, что исторически непротиворечивость различных неевклидовых геометрий была установлена с помощью перевода их в евклидову геометрию, как, например, в доказательстве Клейном непротиворечивости гиперболической геометрии с помощью модели, представленной внутренней стороной окружности на евклидовой плоскости. Ибо бесспорный временной приоритет евклидовой геометрии, свойственный тем историческим обстоятельствам, в которых была установлена внутренняя непротиворечивость различных неевклидовых геометрий, сильно способствовал установлению логического приоритета евклидовой геометрии как единственного гаранта их непротиворечивости. И ошибка Маритена на этот счет только усугубляется его апелляцией к интуитивной ясности положения об исключительном характере геометрии Евклида как единственно возможной структуры реальности, существующей вне мысли. Последний аргумент опровергается тем, что он представляет собой глубоко укоренившееся заблуждение, которое является следствием ошибочной операции *дополнительного вложения в евклидово гиперпространство*, которое характеризуется терминами «искривленное пространство» и «кривизна поверхности». Это дополнительное вложение обусловлено непониманием того, что гауссова кривизна двумерного пространства и риманова кривизна различных ориентаций в точках трехмерного пространства являются определенными и различными свойствами, внутренне присущими этим пространствам, и не нуждаются ни в каком вложении. Более того, Маритен упускает здесь из виду, что даже в том случае, когда доказательство непротиворечивости, например гиперболической геометрии, дается на базе евклидовой геометрии (что, как мы видели, отнюдь не необходимо), оно может быть выполнено, не прибегая к вложению как в вышеупомянутом случае *двухмерной модели Клейна*, так и в методике Бельтрами, где пространство постоянной отрицательной гауссовой кривизны (содержащее сингулярные линии) влагается в евклидово трехмерное пространство.

И наконец, нельзя утверждать, что *геометрические свойства существующих тел* представляют собой «те свой-

ства, которые разум познает при элиминировании всего физического». Ибо в таком случае геометрия изучала бы чисто воображаемые мысленные объекты, которые, конечно, должны были бы иметь евклидовы свойства, если воображение Маритена задает их таким образом. И геометрию такого воображаемого пространства нельзя было бы тогда квалифицировать как геометрию реального, с точки зрения Маритена, или внепсихического пространства. Геометрическая теория внешней реальности абстрагируется в самом деле от большого класса физических свойств в том смысле, что она изучает совпадение перемещаемых твердых тел с метрической точки зрения независимо от специфически физических свойств материалов, из которых состоят эти твердые тела. Однако это своего рода абстрагирование не лишает физического характера поведение стержней в отношении их совпадений. И если с помощью методов, которые применяются физиками, нельзя понять законы этого поведения, то в таком случае никакой иной вид интеллектуального исследования также не добьется успеха.

Верно, конечно, что, даже помимо экспериментальных ошибок, не говоря уже об ограничениях степени точности измерений, накладываемых квантовой теорией¹, с помощью которых может быть содержательным образом установлен метрический тензор *пространства-времени*, никакое *конечное* число данных не может единственным образом определить функцию, составляющую отображения g_{ik} метрического тензора в любой данной системе координат. Однако критерий *индуктивной* простоты, который управляет свободным творчеством воображения геометра при выборе им частного метрического тензора, является тем же самым, которым пользуются при разработке теорий в любом не геометрическом разделе эмпирической науки. И выбор, который делается на основе такой индуктивной простоты, является в принципе истинным или ошибочным в отличие от выбора, вытекающего из соображений описательной простоты, который отражает только соглашения.

¹ E. P. Wigner, Relativistic Invariance and Quantum Phenomena, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXIX (1957), pp. 255—268; H. Salecker and E. P. Wigner, Quantum Limitations of the Measurement of Space-Time Distances, «The Physical Review», Vol. CIX (1958), pp. 571—577.

ЭМПИРИЗМ И ГЕОМЕТРИЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Мы начнем с довольно краткого обозрения той оценки нашего знания о визуальном пространстве, которая была дана Карнапом, Гельмгольцем и Рейхенбахом. Это обозрение будет предшествовать обсуждению некоторых проблем, поставленных современными *экспериментальными* исследованиями геометрии *визуального* пространства.

Проводя различие между пространством физических объектов и пространством визуального опыта (*Anschauungsraum*), Карнап примыкает к эмпиризму даже в своей самой ранней работе, поскольку он утверждает, что топология физического пространства известна нам *a posteriori*, и отношения совпадения между точками, устанавливаемые на основании опыта, дают нам, коль скоро мы свободно выбрали координативное определение конгруэнтности, уникальную метризацию этого пространства¹. Однако в тот период его *предвзятая* неокантианская точка зрения сказала на предложенной им эпистемологической интерпретации аксиом, которым подчиняется топология *визуального* пространства: «Опыт не обеспечивает их подтверждения, аксиомы... независимы от «количества опыта», то есть знание о них не становится, как в случае суждений *a posteriori*, более достоверным благодаря монократному повторению опыта. Ибо, как показал Гуссерль, мы здесь имеем дело не с фактами в смысле эмпирически воспринимаемых реальностей, а с сущностью (*eidos*) некоторых представлений, специфическую природу которых можно постигнуть еди-

¹ R. Carnap, *Der Raum*, S. 39, 45, 54, 63.

ничным непосредственным переживанием»¹. Напоминая о том, что Кант проводил различие между знанием, которое приобретается «с» опытом, с одной стороны, и знанием, которое получается «из» опыта — с другой, ранний Карнап классифицирует эти аксиомы как синтетические суждения а priori, в кантовском смысле.

Эта теория феноменологического а priori представляла собой более сильную версию утверждения Гельмгольца о том, что «пространство может быть трансцендентальным [а priori], тогда как его аксиомы не могут»². Уступка Гельмгольца кантианству касалась только *аморфной* визуальной протяженности как априорного условия пространственного опыта³, тогда как провозглашение им апостериорного характера топологических и метрических уточнений этой протяженности, которые производятся на основе его пионерского метода воображения (*sich ausmalen*) специфического содержания чувственных восприятий, которое мы имели бы в мирах, обладающих совершенно иной пространственной структурой⁴.

¹ R. Carnap, *Der Raum*, S. 22. См. также стр. 62. О более современной защите тезиса о том, что «существуют синтетические суждения а priori пространственной интуиции» см.: K. Reide-meister, *Zur Logik der Lehre vom Raum*, «Dialectica», Vol. VI, (1952), p. 342. Обсуждение связанных с этим вопросов см. в: P. Bergaays, *Die Grundbegriffe der reinen Geometrie in ihrem Verhältnis zur Anschauung*, «Naturwissenschaften», Vol. XVI (1928).

² H. von Helmholtz, *Schriften zur Erkenntnistheorie*, P. Hertz und M. Schlick (eds.), Berlin: Julius Springer, 1921, S. 140.

³ *Ibid.*, S. 2, 70, 121—122, 140—142, 144—145, 147—148, 152, 158, 161—162, 163, 168, 172, 174. Гельмголец следующим образом пытается охарактеризовать атрибуты пространства как отличного от трехмерного многообразия: «В пространстве расстояние между двумя точками по вертикали можно сравнить с горизонтальным расстоянием между двумя точками на полу, потому что измерительное устройство можно с равным успехом применить к этим обоим парам точек. Однако мы не можем сравнивать расстояние между двумя тонами равной высоты и различной силы с расстоянием между двумя тонами равной силы и различной высоты» (*ibid.*, S. 12.). Шлик, однако, правильно заметил в своих комментариях (*ibid.*, S. 28), что этот атрибут является необходимым, но недостаточным для того, чтобы установить иной характер пространства.

⁴ *Ibid.*, S. 5, 22, 164—165. См. также статьи Герхарда: «Nicht-euklidische Kinematographie», «Naturwissenschaften», Bd. XX (1932), S. 925; «Nichteuklidische Anschauung und optische Täuschungen», «Naturwissenschaften», Bd. XXIV (1936), S. 437.

Феноменологическое а priori не может быть, однако, оценкой нашего знания о свойствах визуального пространства. Ибо *эмпирическим* фактом является то, что для опыта, приобретаемого за счет зрения, свойственны неопределимые атрибуты, которые характеризуют визуальную протяженность, а не протяженность, относящуюся к тактильным ощущениям или к тем переживаниям, источником которых были бы особые органы чувств, реагирующие на магнитные возмущения, если бы мы такими органами обладали. В классе любых логически возможных переживаний созерцание сущности (Wesensschau), которое дается нам нашим зрением, следует рассматривать как источник эмпирического знания. Ибо единственный способ а priori убедиться в том, что все будущие свидетельства наших глаз будут обладать характерным атрибутом, установленным для нас Гуссерлем, состоит в том, чтобы прибегнуть к скрытой тавтологии, отказываясь назвать полученное знание «знанием о визуальном пространстве», если оно не обладает указанным атрибутом.

В частности, Рейхенбах внес многозначительный вклад в разрушение кантианской концепции об априорно устанавливаемой *метрике визуального* пространства, показав, что интуитивное стремление к признанию евклидовости неотъемлемым свойством этого пространства обусловлено логическими фактами, и поэтому кантианская интерпретация теряет свои последние позиции, и что противоположные интуитивным предположения о неевклидовых отношениях представляют собой лишь результат как онтогенетической, так и филогенетической адаптации к евклидовости физического пространства повседневной жизни¹.

Несколько лет назад экспериментальные оптико-математические исследования Ланебурга² и Бланка³ привели

¹ H. R e i c h e n b a c h, The Philosophy of Space and Time, pp. 32—34, 37—43.

² R. K. L u n e b u r g, Mathematical Analysis of Binocular Vision, Princeton: Princeton University Press, 1947; «Metric Methods in Binocular Visual Perception», в: «Studies and Essays», Courant Anniversary Volume, New York: Interscience Publishers, 1948, p. 215—239.

³ A. A. B l a n k, The Luneburg Theory of Binocular Visual Space, «Journal of the Optical Society of America», Vol. XLIII (1953), p. 717; «The non-Euclidean Geometry of Binocular Visual Space», в: «Bulletin of the American Mathematical Society», Vol. LX (1954), p. 376; «The Geometry of Vision», в: «The British Journal of Phy-

этих авторов к утверждению, что, хотя *физическое* пространство, глубина которого чувственно воспринимается бинокулярным зрением, на самом деле евклидово, бинокулярное *визуальное* пространство, вытекающее из психометрической координации, характеризуется *гиперболической* геометрией Лобачевского с постоянной кривизной. В связи с этим утверждением возникают различные вопросы.

Первый из них состоит в том, как человеческие существа могут столь легко управлять своим поведением в евклидовом физическом окружении, если геометрия визуального пространства, по-видимому, является гиперболической. Бланк предлагает в качестве решения вопроса следующее: во-первых, моторное приспособление человека к его физическому окружению обеспечивается не только *визуальными* данными; эти данные, кроме того, дают ему правильную информацию, поскольку обеспечивают достаточно хорошее приближение к относительным направлениям объектов и поскольку отображение физических объектов на визуальное пространство сохраняет топологию (хотя и не сохраняет метрику) физического пространства, позволяя тем самым человеку контролировать свои моторные реакции с помощью обратной связи, как, например, при заезде автомобиля на стоянку или продевании нитки в иголку; и, во-вторых, тезис о гиперболичности визуального пространства основывается на данных, полученных при таких экспериментальных условиях, которые намного более ограничены, чем условия, сопровождающие наш повседневный опыт. При обычных условиях мы обеспечиваем восприятие глубины, полагаясь на координацию оптических образов, которую дают нам оба глаза, чему мы научились на основании наших прошлых повседневных ситуаций. Однако для того, чтобы выяснить законы только *одного* из источников пространственной информации — законы стереоскопической глубины восприятия, — экспериментаторы, проверявшие

siological Optics», Vol. XIV (1957), p. 154; «The Luneburg Theory of Binocular Perception» в: S. Koch (ed.), Psychology, A Study of a Science, New York: McGraw-Hill Book Co. 1958, Study I, Vol. I, Part III, Sec. A. 2; «Axiomatics of Binocular Vision. The Foundations of Metric Geometry in Relation to Space Perception», в: «Journal of the Optical Society of America», Vol. XLVIII (1958), p. 328; «Analysis of Experiments in Binocular Space Perception», в: «Journal of Optical Society of America», Vol. XLVIII (1958), p. 911.

теорию Ланебурга—Бланка, стремились не допустить, чтобы испытуемые могли ориентироваться по ситуации: не было ни знаков, указывающих на перспективу, ни обычных предметов, расположение которых субъект определяет тактильными средствами. Единственным видимым объектом была изолированная точка света в совершенно темной комнате. Фактически испытуемый не мог даже двигать головой, чтобы сделать заключение на основании параллакса. Поскольку ситуационные указатели доступны также и при монокулярном зрении, экспериментаторы предположили, что они не играют никакой роли во врожденных физиологических процессах, управляющих специфическими ощущениями трехмерного пространства, которые образуются при бинокулярном зрении.

Если пойти дальше ограниченного предмета теории Ланебурга, а именно объяснения бинокулярного механизма визуальных восприятий, и попытаться использовать ее тезис о неевклидовой структуре визуального пространства в более широкой теории обучения пространственной ориентировке, то в связи с этим возникает ряд дополнительных вопросов: 1) как человек оказался способным к правильному пониманию евклидовости метрических отношений его окружения, если он пользуется психологическим инструментом, показания которого говорят ему о том, что эти отношения должны быть неевклидовыми? 2) Как можно обучать студентов геометрии Евклида с помощью визуальных методов, то есть методов, которые, несомненно, передают нечто большее, чем топологию евклидова пространства, и успех которых нельзя поэтому объяснить тем, что визуальное пространство, предполагаемое гиперболическим, сохраняет топологию евклидова физического пространства? 3) Если мы буквально повсюду видим одну из неевклидовых геометрий постоянной отрицательной гауссовой кривизны, то почему потребовалось более двух тысяч лет исследований в области аксиоматики, чтобы постичь эти геометрии, и в то время физическое пространство всегда считалось евклидовым? 4) Почему такие мыслители, как Гельмгольц и Пуанкаре, должны были сначала концептуально развивать свои воззрения (*Anschauung*) в направлении, противоположном интуиции, прежде чем получили готовую иллюстрацию мира Лобачевского—Больяй, и этот научный подвиг даже сейчас может быть повторен очень немногими? 5) Если мы возьмем две группы школьников, равных

по своему интеллектуальному уровню, не обладающих никаким предварительным формальным геометрическим образованием, и станем одну группу обучать по Евклиду, а другую по Лобачевскому — Больяй, то почему дело обстоит так (если оно на самом деле так обстоит!), что, по всей вероятности, первая группа обнаружит лучшее овладение своим материалом?

Необходимость ответа на эти вопросы будет еще более настоятельной, если мы предположим, что наши идеи относительно геометрии непосредственного физического окружения формируются в первую очередь не физической геометрией измерительных стержней или формальным изучением евклидовой геометрии, а психометрикой наших визуальных чувственных данных.

Бланк, которому автор почтительно указал на эти вопросы, высказал мысль, что на них можно дать ответы, которые идут в следующих направлениях. Во-первых, человек должен научиться понимать значение вечно меняющейся картины визуальных ощущений для метрики *физического* пространства путем *внесения поправок* в большую часть психометрики визуальных ощущений, развивая тем самым привычку не быть слишком восприимчивым к метрическим деталям своих визуальных ощущений. Таким образом, еще до того, как мы становимся взрослыми, мы учимся связывать с нежесткой последовательностью визуальных ощущений, соответствующих образу стула в различных положениях и ситуациях, присущую ему физическую жесткость, игнорируя вообще все те аспекты изменяющейся кажимости, которые не могут послужить нам основой для действий. На самом деле лабораторные данные показывают, что, какая бы ни была физическая конфигурация, имется бесконечное множество других, которые дают те же самые бинокулярные нити¹. Поскольку мы удерживаем в памяти те аспекты визуального опыта, которые позволяют нам располагать объекты в ситуациях, способствующих нашим действиям, евклидовы отношения проиллюстрировать гораздо легче (хотя на самом деле мы их не видим и наглядными сделать не можем), чем отношения геометрии Лобачевского.

¹ См.: A. A. B l a n k, The Luneburg Theory of Binocular Visual Space, pp. 721—722; L. H. H a r d y, G. R a n d, M. C. R i t t l e r, A. A. B l a n k, and P. B o e d e r, The Geometry of Binocular Space Perception, New York: Columbia University College of Physicians and Surgeons, 1953, pp. 15ff and 39ff.

Во-вторых, те геометрические суждения, которые выводятся на основании бинокулярных восприятий и которые являются *общими* для евклидовой и гиперболической геометрии¹, будут истинными также и в физическом плане.

Кроме того, существуют некоторые небольшие двумерные элементы визуального пространства, которые, по существу, являются изомерами соответствующих элементов евклидова пространства их физических стимулов. Например, в плоскости, параллельной линии, соединяющей центры вращения глаз, метрические отношения физического мира наблюдаются без искажений в окрестностях точки, которая является основанием перпендикуляра к этой плоскости, проведенного из точки, лежащей посередине расстояния между глазами. Поэтому мы можем получать визуальные приближения первого порядка к физической евклидовой геометрии из фронтального рассмотрения таким способом небольших диаграмм. Точно так же мы можем представить себе, каким образом понятие подобия фигур, которое единственно выделяет евклидову геометрию из пространств *постоянной* кривизны, может быть выражено в контексте неевклидовой визуальной геометрии: все римановы геометрии локально являются евклидовыми, характеризуясь, следовательно, в малом преобразованиями подобия. В-третьих, предполагаемая большая легкость, с которой студенты якобы могут усваивать Евклида, а не Лобачевского, обусловлена большей аналитической простотой числовых отношений евклидовой геометрии.

¹ Об имеющих к этому отношению аксиомах так называемой «абсолютной» геометрии см.: R. B a l d u s, Nichteuklidische Geometrie, edited by F. Löbell (3rd revised edition; Berlin: Walter de Gruyter and Company, 1953), Sammlung Göschen, Vol. CMLXX, Chap. ii.

РЕШЕНИЕ АПОРИИ ЗЕНОНА О ПРОТЯЖЕННОСТИ ДЛЯ СЛУЧАЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО КONTИНУУМА ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

В аналитической геометрии физического пространства и времени общим местом является утверждение, что *протяженный* отрезок прямой, имеющий положительную длину, «составлен из» *непротяженных* точек, каждая из которых имеет длину, равную нулю. Аналогичным образом постулируется, что временные интервалы положительной длительности составлены из мгновений, каждое из которых обладает нулевой длительностью.

Еще со времен тех греков, которые определяли точку как «то, что не имеет частей»¹, философы и математики сомневались в справедливости понимания протяженного континуума как совокупности непротяженных элементов. В длинном списке исследователей, которые занимались этим вопросом в контексте математических и философских теорий, характерных для своего времени, мы находим такие имена, как Зенон Элейский², Аристотель³, Кавальери⁴,

¹ Это определение дано Евклидом («Начала Евклида», кн. I—V, ОГИЗ, М.—Л., 1948, стр. 11).

² С. Я. Лурье, Теория бесконечно малых у древних атомистов, М.—Л., 1935, стр. 31—37.

³ Aristotle: «On Generation and Corruption», Book I, Chap. ii, 316^a15—317^a17; A. E d e l, Aristotle's Theory of the Infinite, New York: Columbia University Press, 1934, pp. 48—49, 76—78; T. L. H e a t h, Mathematics in Aristotle, Oxford: Oxford University Press, 1949, pp. 90—117.

⁴ С. В. В о у е r, The Concepts of the Calculus, New York: Hafner Publishing Co., 1949. p. 140.

Тэкет¹, Паскаль², Больцано³, Лейбниц⁴, Дюбуа-Раймон⁵, Кантор⁶; однако здесь упомянуты далеко не все. Так, Уильям Джемс писал:

Однако если мы берем пространство и время как понятия, а не как чувственные данные, то мы, конечно, не понимаем, как могут они иметь атомистическую конструкцию. Ибо если капли или атомы сами не обладают длительностью или протяженностью, то непостижимо, как сложением любого их числа получались бы времена и пространства⁷.

...что сущность, отождествимая с некоторой бесконечной цепью единиц (таких, как «точки»), ни одна из которых не содержит никакого количества этой сущности (такой, как «пространство»), никогда не может быть получена; это нечто такое, чего наш интеллект не только не может понять, но и считает абсурдным⁸. Разбирая этот вопрос, Бриджмен отмечал: «... относительно апорий Зенона... если бы линию понимали так, что она буквально состоит из совокупности точек нулевой протяженности, а интервал времени представляет собой сумму недлящихся мгновений, тогда уже само это понимание было бы парадоксальным»⁹.

Эта зенонианская критика математической теории физического пространства и времени Джемсом и Бриджменом бросает вызов основным концепциям Кантора, лежащим в основе аналитической геометрии и математической теории движения¹⁰. Их точка зрения ставит под сомнение также такую философию науки, которая опирается на эти концепции в своей интерпретации математического познания природы. В соответствии с этим наше исследование будет, по существу, направлено на выяснение вопроса, может ли современная теория точечных множеств добиться успеха и преодолеть противоречивый характер утверждения о том,

¹ C. B. Boyer, *The Concepts of the Calculus*, p. 140.

² *Ibid.*, p. 152.

³ *Ibid.*, p. 270; B. Bolzano, *Paradoxes of the Infinite*, ed. D. A. Steele, New Haven: Yale University Press, 1951.

⁴ B. Russell, *The Philosophy of Leibniz*, London: G. Allen & Unwin, 1937, p. 114.

⁵ P. du Bois-Reymond, *Die Allgemeine Funktionen-theorie*, Tübingen: Lauppische Buchhandlung, 1882, Bd. I, S. 66.

⁶ G. Cantor, *Gesammelte Abhandlungen*, ed. E. Zermelo, Berlin: Julius Springer, 1932, S. 275, 374.

⁷ W. James, *Some Problems of Philosophy*, p. 155.

⁸ *Ibid.*, p. 186.

⁹ P. W. Bridgman, *Some Implications of Recent Points of View in Physics*, «*Revue Internationale de Philosophie*», Vol. III, № 10 (1949), p. 490.

¹⁰ G. Cantor, *Gesammelte Abhandlungen*, S. 275.

что положительный линейный интервал состоит из непротяженных элементов — точек.

В этой главе мы попытаемся выявить те свойства современной математической теории, которые действительно устраняют эту противоречивость. Мы покажем, какого рода математическим и философским теориям удалось обойти математические (метрические) апории Зенона относительно множества; эти апории следует отличать от апорий движения. Эти последние были рассмотрены нами в разделе о протяженности в книге «Современная наука и парадоксы Зенона»¹. Как и раньше, наше отношение к взглядам, которые приписывались Зенону различными авторами, является исключительно логическим и мы не предъявляем никаких претензий на историческое рассмотрение развития аргументации Зенона или относительно аутентичности взглядов, которые мы связываем с его именем. Согласно Лурье², Зенон в его математической апории множества опирается на две основные аксиомы. Разделив все величины на положительные и «безразмерные», Зенон предполагает, что 1) сумма бесконечного числа равных положительных величин произвольной малости с необходимостью должна быть бесконечной, 2) сумма любого конечного или бесконечного числа «безразмерных» величин с необходимостью должна равняться нулю.

Со второй из этих аксиом, по-видимому, соглашается Бриджмен, и она была сформулирована также математиком Паулем Дюбуа-Раймоном³, который затем сделал вывод, что мы не можем рассматривать линию как совокупность «безразмерных» точек, коль скоро мы постулируем, что эта совокупность должна обладать плотностью и порядком. Сам Зенон полагал, что должен использовать эти аксиомы в качестве основания для формулирования следующей дилеммы⁴: если отрезок линии разлагается на совокупность бесконечного множества равных элементов, тогда возможны два и только два случая — либо эти элементы обладают одина-

¹ A. Grünbaum, *Modern Science and Zeno's Paradox*, London: Allen and Unwin, 1968.

² С. Я. Лурье, Теория бесконечно малых у древних атомистов, стр. 31—37.

³ P. du Bois-Reymond, *Die Allgemeine Funktionen-theorie*, S. 66.

⁴ H. Hasse and H. Scholz, *Die Grundlagenkrise der griechischen Mathematik*, Charlottenburg: Pan-Verlag, 1928, S. 11.

ковой положительной длиной и их совокупность имеет бесконечную протяженность (по аксиоме 1), либо длина этих элементов равна нулю и их совокупность неизбежно имеет нулевую протяженность (по аксиоме 2). Первое положение этой дилеммы является справедливым, однако оно не имеет отношения к современной аналитической геометрии пространства и времени. Если мы хотим решить проблему, которая стоит перед нами, то нам нужно опровергнуть второе положение этой дилеммы в контексте современной математической теории.

Чтобы проделать это, мы должны прежде всего выяснить логические отношения между современными понятиями метрики, длины, меры и кардинального числа, когда их используют при рассмотрении (бесконечных) точечных множеств. Поскольку во втором положении своей дилеммы Зенон утверждает, что линию нельзя рассматривать как совокупность точек, так как не имеет значения, какое кардинальное число мы постулируем для этой совокупности, Дюбуа-Раймон также поддерживает это положение, напоминая о том, что точки являются «безразмерными», то есть непротяженными, и утверждая, что если мы рассматриваем линию «только как совокупность точек», то мы *eo ipso* (тем самым) отказываемся от взгляда, что «линия и точка являются существенно различными вещами»¹.

Мы видим, что Дюбуа-Раймон следует довольно старой традиции, согласно которой при характеристике (чувственной) протяженности понятия длины и размерности интуитивно рассматриваются как равнозначные. Поэтому будет разумнее начать наш анализ с замечания о необходимости проводить различие между традиционным *метрическим* употреблением термина «размерность» и современным *топологическим* смыслом понятия «нулевая размерность». Это различие становится необходимым в силу того, что топологическая теория размерности разрабатывалась автономно от метрической геометрии. До разработки этой теории любой положительный интервал в декартовом n -мерном пространстве просто назывался n -мерным по определению. Так, линейные отрезки, имеющие длину, именовались одномерными, а поверхности, обладающие площадью, — двухмерными. Напротив, в топологической теории размерности,

¹ P. du Bois-Reymond, Die Allgemeine Funktionentheorie, S. 65.

разработанной в нашем столетии, существует нетривиальная теорема, согласно которой линии топологически одномерны, поверхности — двумерны и вообще декартово пространство n измерений обладает n -мерностью. Фактически именно эта теорема оправдывает применение термина «теории размерности» к особой ветви топологии, имеющей дело с такими неметрическими свойствами точечных множеств, которые способствуют доказательству справедливости этой теоремы¹. В противоположность этому традиционный метрический смысл размерности отождествляет размерность с длиной, или мерой, протяженности. К метрической проблеме этой главы имеет отношение только последний смысл «размерности» или «безразмерности». Поэтому мы отсылаем читателя к другим нашим публикациям² относительно оценки того, как теория размерности XX века может *непротиворечиво* говорить о следующих *аддитивных в топологическом смысле* свойствах размерности, как «нулевая размерность» и «одномерность»: точечное множество, составляющее числовую ось или любой конечный отрезок на ней (то есть бесконечная прямая линия или соответственно конечный отрезок линии), является *одномерным*, даже если оно в смысле теории множеств является суммой подмножеств *нулевой* размерности. Подмножествами нулевой размерности являются: а) любое единичное точечное множество (такое множество состоит из одной точки, являющейся ее единственным членом, и, следовательно, на него можно свободно ссылаться как на «точку», если подобное употребление этого слова не приводит к двусмысленности), б) любая *конечная* совокупность, состоящая из одной или большего числа точек, в) любое счетное множество (в частности, множество рациональных вещественных точек), г) множество иррациональных вещественных точек, являющееся несчетной бесконечностью.

В соответствии с этим мы должны теперь перейти к следующему *метрическому* вопросу: как может определение длины, оставаясь в рамках стандартной математики, которая используется в физике, *непротиворечивым* образом приписывать нулевую длину *единичным* точечным множествам,

¹ К. М е н г е р, Dimensionstheorie, Leipzig: B. G. Teubner, 1928, S. 244.

² А. Г р ü н б а u m, A Consistent Conception of the Extended Linear Continuum as an Aggregate of Unextended Elements, «Philosophy of Science», Vol. XIX (1952), pp. 290—295.

или индивидуальным точкам, и в то же время приписывать положительные конечные длины соединениям (суммам) этих единичных точечных множеств, составляющим конечный интервал. Чтобы дать ответ на последний вопрос, нужно опровергнуть второе положение дилеммы Зенона. Мы произведем необходимый анализ после того, как уделим некоторое внимание предварительному рассмотрению связанных с ним проблем.

Длина, или протяженность, определяется как свойство точечного множества, а не как свойство индивидуальных точек, и нулевая длина приписывается *единичному множеству*, то есть множеству, в котором содержится только одна-единственная точка. Несмотря на то что в геометрии мы трактуем линейный интервал как множество точечных элементов и это корректно в логическом отношении и даже имеет центральное значение для нашей проблемы, все же, строго говоря, такое определение «длины» делает некорректными ссылки на подобные интервалы, как на «совокупности непротяженных точек». Хотя свойства быть протяженным или быть непротяженным характеризуют единичные точечные *множества*, они все же не присущи соответствующим их точечным *элементам*, точно так же, как температура является свойством только совокупности молекул, а не индивидуальных молекул. Поэтому сущности, о которых, собственно, можно сказать, что они непротяжены, *включаются* в совокупность точек, составляющих линейный интервал, но не являются *его элементами*. В соответствии с этим линейный интервал, строго говоря, представляет собой соединение непротяженных единичных точечных множеств, а не «совокупность непротяженных точек». Хотя это и не совсем корректно, все же мы намереваемся использовать последнее обозначение для того, чтобы избежать более громоздкого выражения «соединение непротяженных единичных точечных множеств». Теперь мы перейдем к изложению тех разделов теории метрических пространств, которые имеют отношение к нашей проблеме.

Структура, характеризующая класс всех вещественных чисел (положительных, отрицательных и нуль), расположенных в порядке возрастания их величин, является *структурой линейного континуума Кантора*¹.

¹ E. V. Huntington, *The Continuum and Other Types of Serial Order*, 2nd ed.; Cambridge: Harvard University Press, 1942, pp. 10, 44.

Евклидовы точечные множества, или «пространства», которые мы будем рассматривать, являются «метрическими» в следующем комплексном смысле¹:

1) существует взаимно однозначное соответствие между точками n -мерного евклидова пространства E^n и некоторой действительной системой координат (x_1, \dots, x_n) ;

2) если точки x, y имеют координаты x_i, y_i , тогда существует действительная функция $d(x, y)$, называемая их (евклидовым) *расстоянием*, которая выражается формулой

$$d(x, y) = \left[\sum_1^n (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2}.$$

Основные свойства этой функции задаются некоторыми *аксиомами* расстояния².

Конечный интервал на прямой линии представляет собой (упорядоченное) множество всех вещественных точек между a иногда и включая одну или обе) двумя фиксированными точками, которые именуются «конечными точками» интервала. Поскольку точки, составляющие интервал, удовлетворяют отмеченному выше в определении «метрики» условию 1, имеется возможность определить «расстояние» между фиксированными конечными точками данного интервала. Число, выражающее это расстояние, является *длиной* точечного множества, составляющего этот интервал. Пусть a и b обозначают соответственно точки a и b или соответствующие им вещественные числовые координаты в зависимости от ситуации. Тогда мы определяем длину конечного интервала (a, b) , как положительную величину $b - a$ безотносительно к тому, является ли интервал $\{x\}$ замкнутым ($a \leq x \leq b$), открытым ($a < x < b$) или полуоткрытым ($a < x \leq b$ или $a \leq x < b$). (Само собой понятно, что символы $<$ и $=$ имеют здесь чисто порядковый смысл.) Следовательно, прибавление в смысле теории множеств одной точки к открытому интервалу (или к полуоткрытому интервалу с его открытого конца) вообще не оказывает никакого влияния на *длину* получающегося в результате этой операции интервала по сравнению с длиной первоначального интервала. В предельном случае $a = b$ интервал называется «вырожденным», и здесь замкнутый интервал сводится к множеству,

¹ S. L e f s c h e t z, Introduction to Topology, Princeton: Princeton University Press, 1949, p. 28.

² Ibid.

которое состоит из одной точки $x = a$, тогда как каждый из других трех интервалов является пустым. Отсюда следует, что длина вырожденного интервала равна нулю. В вольном изложении единственная точка имеет длину, равную 0^1 .

Зенон оспаривает, что когда мы устанавливаем длину конечного интервала, опираясь на нулевые длины его вырожденных подынтервалов, каждый из которых имеет своим членом одну-единственную точку, то должны получать результат, отличный от нуля. Однако, поскольку каждый положительный интервал обладает *несчетной* бесконечностью вырожденных подынтервалов, результат определения длины этого интервала путем «составления» каким-то неопределенным образом нулевых длин его вырожденных подынтервалов гораздо менее очевиден, чем это должно было казаться Зенону, который не проводил различия между счетными и несчетными бесконечными множествами.

Хотя длина, подобно мощности, является свойством *множеств*, а не их элементов, существенное значение имеет ясное понимание того, что мощность некоторого интервала не есть функция его длины. Независимость мощности и длины становится очевидной при сочетании нашего определения длины с доказательством Кантора эквивалентности множества всех вещественных точек между 0 и 1 множеству всех вещественных точек между *любыми* двумя фиксированными точками на числовой оси. Следовательно, данный случай отличается от того, когда больший из двух положительных интервалов имеет «больше» точек.

Когда имеются два неравных интервала, один из которых является собственной частью другого, больший интервал содержит точки, которые не принадлежат меньшему интервалу. В этом смысле точно установленного различия в тождестве и принадлежности множеству про больший из двух интервалов можно сказать, что он содержит «больше» точек, то есть точек иных, чем те, которые принадлежат меньшему интервалу.

Раз установлена независимость мощности и длины таких точечных множеств, можно элиминировать отдельные затруднения, свидетельствующие об ошибочности подобных трактовок бесконечной делимости интервалов, о чем мы будем говорить ниже. Таким образом, нельзя сделать вывод,

¹ H. C r a m é r, *Mathematical Methods of Statistics*, Princeton: Princeton University Press, 1946, p. 11, 19.

что подразделение какого-то интервала на два или более подынтервалов сообщает каждому из полученных подынтервалов мощность, меньшую мощности первоначального интервала.

Интересную иллюстрацию независимости мощности и длины дает так называемое тричное множество (дисконтинуум Кантора). Это множество имеет нулевую длину (и нулевую размерность), обладая в то же время мощностью континуума¹. И существование этого множества показывает, что мощность, как таковая, еще недостаточна для придания положительной протяженности *какому-либо интервалу*, но что его положительная длина зависит *от структурного расположения* его элементов.

Теперь перейдем к выяснению того, почему *парадоксальные* выводы Зенона о том, что длина данного *положительного* интервала (a, b) равна *нулю*, *нельзя* вывести из двух следующих предположений нашей геометрии: 1) любой положительный или невырожденный интервал представляет собой соединение континуума вырожденных подынтервалов и 2) длина вырожденного (под)интервала равна нулю. Представляется очевидным, что если теория *непротиворечива*, из нее нельзя вывести результат, полученный Зеноном. Такой результат противоречил бы предположению, что длина интервала (a, b) равна $b - a$ ($a \neq b$). Более того, этот результат был бы несовместим с теоремой Кантора, согласно которой все положительные интервалы обладают одинаковой мощностью безотносительно к их длине, ибо эта теорема показывает, что ни один вывод относительно длины невырожденного интервала не может быть сделан из предположения 1) и 2) с помощью аддитивности длин, разрешаемой теорией. Чтобы показать далее, что наша теория обладает требуемой непротиворечивостью, то есть что она сама по себе не приводит к дедуктивному выводу парадоксального результата Зенона, мы должны рассмотреть определение длины объединения конечного числа неперекрывающихся интервалов, длина которых известна, и длины объединения *счетной* бесконечности таких интервалов.

¹ Р. Курант и Г. Роббинс, Что такое математика? Элементарный очерк идей и методов, Гостехиздат, М.—Л., 1947, стр. 279, а также «Математика, ее содержание, методы и значение», под ред. А. Д. Александрова, А. Н. Колмогорова, М. А. Лаврентьева, Изд-во АН СССР, т. III, М., 1956.

Если какой-то интервал i является объединением *конечного* числа интервалов, из которых любые два не имеют общей точки, то есть если

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n, \quad (i_p i_q = 0 \text{ для } p \neq q),$$

то, как это следует из только что изложенной теории, длина всего интервала равна *арифметической сумме* индивидуальных длин его подынтервалов. Таким образом, мы имеем

$$L(i) = L(i_1) + L(i_2) + L(i_3) + \dots + L(i_n).$$

Если мы теперь *определим* арифметическую сумму прогрессии конечных кардинальных чисел как предел последовательности частных арифметических сумм членов этой последовательности, тогда можно получить¹ нетривиальное доказательство следующей теоремы: длина интервала, который подразделяется на пересчитываемое число подынтервалов, не обладающих общими точками, равна арифметической сумме длин этих подынтервалов². Отсюда сразу следует, что если стандартная математическая теория приходит к этому результату, то она *должна была бы* также утверждать, — чего она не делает! — что интервал состоит из счетного числа точек, а в таком случае апории Зенона были бы разрешимы.

Таким образом, как для конечного числа, так и для *счетного* бесконечного числа неперекрывающихся подынтервалов длина $L(i)$ общего интервала представляет собой аддитивную функцию интервала i . Длина некоторого интервала является числовой мерой исчерпаемости (протяженности) этого интервала, но не его мощности. Последняя не зависит от исчерпаемости числа членов этого интервала.

Напомним, что длина была определена только для интервалов. До сих пор мы не приписывали какого-либо свойства, сходного со свойством длины, другим видам точечных множеств. Однако имеется много случаев, когда было бы желательно получить своего рода *меру* протяженности, так сказать, точечных множеств, совершенно отличных от интервалов. Такого рода проблемы в равной степени, как и проб-

¹ См.: Н. С т а м ё г, *Mathematical Methods of Statistics*, pp. 19—21.

² Этот вопрос обсуждается также во второй главе (§ 2А) моей книги «Современная наука и парадоксы Зенона».

лемы, с которыми сталкиваются в теории (Лебега) интегрирования, наталкивают на мысль о введении обобщенного метрического понятия меры $L(S)$ множества S , чтобы с таким же успехом рассматривать множества, отличные от интервалов. Это метрическое понятие обобщает определение функции интервала $L(i)$ таким образом, чтобы получить положительную аддитивную функцию множества $L(S)$, которая совпадает с $L(i)$ в специальном случае, когда S есть некоторый интервал i . И принципы, вытекающие из теории меры и уместные для нашего обсуждения метрических апорий Зенона, суть следующие:

1) Мерой множества точек должно быть число, зависящее от множества таким образом, чтобы мера суммы двух множеств, которые не имеют ни одной общей точки, была бы суммой мер этих двух множеств... Мера множества, если рассматривать ее как функцию множества, должна таким образом быть *аддитивной* функцией, то есть такой, чтобы ее значение для множества $E_1 + E_2$ было равно сумме ее значений для E_1 и E_2 ¹.

2) ... любая сумма конечного или счетного числа измеримых множеств [которые все содержатся в небесконечном интервале] сама является измеримой².

3) Мера суммы счетной бесконечной последовательности множеств, из которых никакие два не имеют ни одной общей точки, должна быть предельной суммой мер этих множеств всякий раз, когда эта предельная сумма существует³.

4) Каждое счетное множество точек является измеримым, и мера его равна нулю⁴.

Следует отметить, что на основании 2) и 3) стандартная математическая теория утверждает, что мера является *счетно аддитивной* (или перечислимо аддитивной), точно так, как это утверждалось по отношению к длине, что очевидно из нашего прежнего обсуждения вопроса об аддитивности длины⁵.

¹ E. W. H o b s o n, The Theory of Functions of a Real Variable, New York: Dover Publications, 1957, Vol. I, p. 166.

² H. C r a m é r, Mathematical Methods of Statistics, p. 32.

³ E. W. H o b s o n, The Theory of Functions of a Real Variable, Vol. I, p. 166.

⁴ Ibid., p. 176.

⁵ Подробности относительно определения «меры» для различных видов точечных множеств читатель может найти в книгах: H. C r a m é r, Mathematical Methods of Statistics, p. 22 ff; P. R. H a l m o s, Measure Theory, New York: D. Van Nostrand Co., 1950.

Поскольку теория бесконечной делимости ошибочно использовалась при попытках дедуктивно вывести метрические апории Зенона, мы укажем на соответствующие ошибки, прежде чем перейти к существу нашей проблемы—опровержению второго положения метрической дилеммы Зенона.

В переписке с Лейбницем Иоганн Бернулли совершил следующую существенную ошибку: он трактовал актуально бесконечное множество натуральных чисел как множество, обладающее *последним* или ∞ -м членом, которого можно достигнуть, начиная свой путь от нуля¹. Ясно, что точка зрения Бернулли внутренне противоречива, поскольку никакая счетная бесконечность дискретных членов не может иметь последнего члена.

Выдвигая аргументы в пользу своей теории бесконечно малых, Пирс² повторил ту же ошибку Бернулли, рассуждая следующим образом: 1) протяженность иррационального числа в десятичных знаках имеет бесконечное число членов, 2) бесконечная протяженность в десятичных знаках имеет последний элемент на «бесконечном месте», и, поскольку этот элемент находится «бесконечно далеко» в протяженности десятичных знаков, он бесконечно мал, или инфинитезимален, по сравнению с конечными величинами; 3) поскольку понятие непрерывности не может обойтись без иррациональных чисел, оно предполагает бесконечно малые. Более того, метод определения иррациональных точек с помощью совокупности вложенных интервалов³, предложенный Дюбуа-Раймоном⁴, оказался *ошибочным*, так как его тоже можно обвинить в той же ошибке, что и Бернулли⁵.

¹ Г. Вейль, О философии математики, Гостехиздат, М.—Л., 1934, стр. 71.

² С. H a r t s h o r n e and P. W e i s s (eds.), The Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Cambridge: Harvard University Press, 1935, Vol. VI, para. 125.

³ Р. Курант и Г. Роббинс, Что такое математика? стр. 83—84.

⁴ P. d u B o i s - R e y m o n d, Die Allgemeine Funktionentheorie, Bd. I, S. 58—67.

⁵ Основная ошибка Дюбуа-Раймона состоит в предположении, что метод совокупности вложенных интервалов допускает и требует «сращивания» конечных точек «предпоследнего» интервала в одну точку, так что это «сращивание» является *последним шагом* в бесконечной прогрессии формирования совокупности вложенных интервалов. Если рассматриваемый метод требует такого сращи-

Перейдем к рассмотрению этой ошибки, потому что ее допускают в тех случаях, когда пытаются использовать *бесконечную делимость* положительных интервалов в качестве основания для дедуктивного вывода метрической апории Зенона и для отрицания того, что положительный интервал может рассматриваться как совокупность непротяженных точек. Точно такой же дедуктивный вывод этого парадокса приписывают Зенону Ли¹ и Таннери², причем оба, по-видимому, не замечают указанной ошибки.

Согласно их версии, аргументация Зенона подразумевает следующие исходные предположения:

1) бесконечная делимость гарантирует возможность *завершенности* процесса «бесконечного деления», то есть завершенность множества операций деления, которое все же является бесконечным;

2) завершение этого процесса «бесконечного деления» достигается последней операцией в этой последовательности и завершается «достижением» последнего результата деления — математической точки нулевой протяженности³;

3) некоторая актуальная бесконечность, состоящая из различных элементов, порождается с помощью такого процесса «бесконечного деления», о котором говорят, что его можно завершить;

вания, тогда против него можно выдвинуть те же логические возражения, что и против представления Бернулли о ∞ -м, или последнем, натуральном числе. Однако это не так, ибо если этот метод фактически ссылается на прогрессию интервалов, то он не может ни допустить, ни требовать, чтобы иррациональная точка была «последней», или ∞ -й, такого «стягивающегося» интервала. Вместо апелляции к «сращиванию» данный метод устанавливает иррациональную точку *с помощью метода вариаций интервалов в целой последовательности*. Поэтому о свойстве целой последовательности, позволяющем нам определить некоторую точку, утверждают, что оно существует. Повидимому, Дюбуа-Раймона ввели в заблуждения образные выражения, подобные тому, что «интервал стягивается в точку».

¹ H. D. P. Lee, *Zeno of Elea*, Cambridge: Luzac and Co., 1936, p. 23.

² P. Tannery, *Le Concept Scientifique du Continu: Zénon d'Élée et Georg Cantor*, «Revue Philosophique», Vol. XX, No. 2 (1885), pp. 391—392.

³ Это предположение следует связывать с другим, а именно что написание всех n_0 чисел в бесконечной последовательности десятичной дроби, выражающей число π , было бы завершено написанием последней цифры (ср. «Modern Science and Zeno's Paradoxes», Ch. II, § 4).

4) поскольку множества операций деления начинаются с первой операции над всем интервалом и за каждой операцией непосредственно следует другая, причем каждое множество, за исключением первого, имеет определенного предшественника, все они вместе составляют прогрессию множеств одной или более операций.

В предположениях 3 и 4 о «конечных элементах», к которым адресовались метрические аргументы Зенона, говорится, что они должны порождаться *завершенной прогрессией операций деления*. Однако этот вывод является абсурдным, ибо по самой своей сути прогрессия не должна иметь последнего члена и быть завершенной! И высказывание внутренне противоречивого предложения, что в такой актуально бесконечной совокупности существует «последнее» деление, обеспечивающее завершенность процесса «бесконечного деления» «достижением» «конечного» продукта деления, означает фактически повторение ошибки Бернулли.

Отсюда сразу же следует несколько выводов.

1) Мы никогда не «достигаем» актуальной бесконечности математических точек с помощью «бесконечного деления»; следовательно, вообще и вопроса стоять не может о порождении актуальной бесконечности непротяженных элементов с помощью «бесконечного деления».

2) *Сами по себе факты бесконечной делимости не дают законного повода для метрических апорий Зенона*, ибо последние могут появиться только, если *ab initio* постулировать актуальную бесконечность непротяженных элементов. Именно потому, что теория Кантора основывается на этом последнем постулате (а совсем не потому, что его числовая ось бесконечно делима), мы должны рассмотреть, сталкивается ли предложенное Кантором понимание линии с метрическими трудностями, которые были сформулированы Зеноном.

Чтобы показать, что последнее высказывание может быть подтверждено в рамках теории точечных множеств, мы на основании этой теории сформулируем интерпретацию бесконечной делимости, совместимую с этой теорией.

Понятие «деление» линии не имеет ясного смысла до тех пор, пока мы не определим точно, понимаем ли мы под «линией» сущность, подобную *чувственно воспринимаемой «непрерывной»* линии, начерченной мелом на доске, или совсем другую непрерывную линию теории Кантора.

«Непрерывность» чувственно воспринимаемой линейной протяженности состоит, по существу, в невозможности найти в ней разрывы, когда взгляд скользит по ней от одного конца до другого. В чувственно воспринимаемом «континууме» не существует различных элементов, и о нем, как и о видимой линии, нельзя сказать, что он представляет собой совокупность, обладающую структурой. Напротив, непрерывность линии Кантора выражается именно в сложных структурных отношениях (точек) *элементов*, которые определяются постулатами для вещественных чисел¹.

Мы не всегда можем воспринять третий разрыв между двумя визуально воспринимаемыми разрывами (секциями) на чувственно воспринимаемой линии. Таким образом, визуально воспринимаемые разрывы (секции) на этой линии не составляют множества, обладающего различной плотностью. Это означает, что любое имеющее смысл утверждение относительно возможной делимости *чувственно воспринимаемой* линии должно быть совместимо с наличием порога чувственных восприятий. Разделение *чувственно воспринимаемой* линии означает образование одного или более воспринимаемых разрывов на ней. Наоборот, любое утверждение, приписывающее (бесконечную) «делимость» линии, как она понимается Кантором, должно основываться на том факте, что эта линия и ее интервалы уже *ab initio* «разделены» на актуально бесконечное множество точечных элементов, составляющих эту линию (интервал), причем это множество обладает плотностью. В соответствии с этим о линии, в смысле Кантора, можно сказать, что она уже действительно разделена на бесконечное число элементов. «Разделение» линии не может поэтому означать ни создания визуально воспринимаемых разрывов на ней, ни «отделения» точек-элементов друг от друга, которое делает их различимыми. *Когда мы говорим о «разделении» линии в смысле Кантора, то это означает выделение положительных неперекрывающихся подынтервалов и (собственных или несобственных) интервалов линии;* в случае конечных точечных множеств вообще и вырожденного интервала в частности «разделение» будет означать образование собственно пустых *подмножеств*. Положительный интервал *бесконечно делим* в том смысле, что допускает *выделение* по крайней мере одной

¹ «Modern Science and Zeno's Paradoxes», Ch. II, § 2A.

счетной бесконечности положительных непрерывающихся интервалов.

Из нашей дефиниции разделения и из свойств конечных множеств следует, что разделение *конечного* точечного множества на два (или более) члена с необходимостью ведет к уменьшению его кардинального числа. Это уменьшение подчеркивает отличие поведения конечного точечного множества от поведения *интервалов*, разделение которых приводит к образованию подынтервалов той же самой мощности, что и первоначальный интервал. Фундаментальное значение имеет осознание в данной ситуации того, что разделение интервала *не* приводит к уменьшению мощности получающихся подынтервалов по сравнению с первоначальным интервалом. Непреднамеренное *отрицание* этого обстоятельства, по-видимому, имплицитно входит (вместе с ошибкой Бернулли) в ошибочное предположение о том, что бесконечная делимость интервала гарантирует возможность получения всех составляющих его индивидуальных точек в качестве «продуктов бесконечного деления». Поскольку вырожденный интервал не имеет никакого собственного непустого подмножества, этот уникальный интервал является *неделимым*. Мы видим, что, согласно нашей теории, (бесконечная) делимость и неделимость являются соответственно теоретико-множественными, а не метрическими свойствами. Эта теория позволяет нам приписывать точное значение неделимости единичному точечному множеству, 1) определяя разделение как такую операцию, которая производится только над множеством, а не над его элементами, 2) определяя делимость конечных множеств как образование их собственных подынтервалов, которые не являются пустыми, и 3) доказывая, что вырожденный интервал неделим по причине отсутствия у него подмножества необходимого типа.

Отметим, что деление представляет собой некоторую *операцию* над определенными точечными множествами, тогда как делимость и свойство быть сверхсчетной бесконечностью являются соответственно свойствами некоторых точечных множеств в случае канторовой линии. И бесконечная делимость интервала не приводит к какому-либо виду «бесконечного деления», которое породило бы сверхсчетность множества составляющих его точек¹.

¹ Тем не менее очень часто удобно обозначать принадлежность к множеству с помощью языка, применяющегося при описании

Важное значение имеет ясное понимание того, что наш анализ показал, каким образом мы можем *совершенно непротиворечиво* высказывать следующие два предложения:

- 1) линия и ее интервал *бесконечно делимы*;
- 2) линия и ее интервал представляют собой совокупность неделимых вырожденных интервалов.

Теперь перейдем к решающему пункту нашей проблемы, а именно к опровержению, исходя из теории множеств второго положения метрической дилеммы Зенона.

Поскольку положительный интервал представляет собой совокупность континуума вырожденных интервалов¹, мы должны теперь определить, какой смысл, *если вообще таковой имеется*, мы можем приписать «суммированию» длин этих вырожденных интервалов, чтобы получить длину интервала в целом. Решение этой предлагаемой проблемы не будет решением *ad hoc*, поскольку оно основывается на рассуждениях, зависящих не от частных величин отрезков по длине, которые последователи Зенона предлагают нам «сложить», а от того, что число этих длин, подлежащих сложению, является *несчетным*.

Ранее мы определили длину совокупности *конечного* числа перекрывающихся интервалов, длины которых известны, исходя из длин этих последних. Кроме того, мы сформулировали соответствующее определение длины соединения счетной бесконечности неперекрывающихся интервалов. Если мы теперь попытаемся подразделить интервал на несчетную бесконечность таких интервалов, то мы обнаружим, что они *не могут быть невырожденными*. Ибо Кантор доказал, что любая совокупность неперекрывающихся интервалов на линии представляет собой в лучшем случае счетную бесконечность². Отсюда следует, что вырожденные подынтервалы, находящиеся в фокусе нашего внимания, являются единственным видом (неперекрывающихся) подынтервалов, которых данный интервал содержит несчетное множество. Вполне естественно поэтому, что они порожда-

эллипсов, говоря об актуальной бесконечности операций, которые, так сказать, приводят к «вырождению» элементов рассматриваемого множества.

¹ Слово «континуум» может обозначать либо упорядоченную структуру вещественных чисел, либо ее мощность. Из контекста будет ясно, какое из этих значений подразумевается или что имеется в виду оба смысла сразу.

² G. C a n t o r, *Gesammelte Abhandlungen*, S. 153.

ют специфическую ситуацию. Последняя обусловлена тем, что наша теория не приписывает никакого значения процессу «образования арифметической суммы», когда мы пытаемся «суммировать» *сверхсчетную* бесконечность индивидуальных чисел (длин)! Этот факт не зависит от того, являются ли индивидуальные числа в таком сверхсчетном множестве чисел нулями или конечными кардинальными числами, отличными от нуля.

Следовательно, обсуждаемая теория не может рассматриваться как придуманная *ad hoc* для предотвращения возможности «складывания» на манер Зенона нулевых длин континуума точек, «составляющих» интервал (a, b) с тем, чтобы получить 0 в качестве длины этого интервала. Хотя конечный интервал (a, b) представляет собой соединение вырожденных подынтервалов, *мы не можем содержательным образом определить его длину в нашей теории путем «складывания» индивидуальных нулевых длин вырожденных подынтервалов.* Мы сталкиваемся здесь с примером, когда сложение возможно только в смысле теории множеств (то есть образования соединения вырожденных подынтервалов) и невозможно сложение (их длин) в арифметическом смысле.

Мы показали, что геометрическая теория, как она представлена здесь, *не* обладает парадоксальным свойством, приписывая, с одной стороны, ненулевую длину $b - a$ интервалу (a, b) , а с другой — запрещая делать вывод, что интервал (a, b) должен иметь нулевую длину при условии, что каждая из составляющих его точек имеет нулевую длину. Говоря более точно, мы показали, что геометрическая теория в рамках ее правил сложения длин может непротиворечивым образом одновременно утверждать следующие четыре положения:

- 1) конечный интервал (a, b) является соединением континуума вырожденных подынтервалов;
- 2) длина каждого вырожденного (под)интервала равна 0;
- 3) длина интервала (a, b) выражается числом $b - a$;
- 4) длина интервала не есть функция его мощности.

Наш анализ, очевидно, опровергает голословные утверждения последователей Зенона о противоречивости геометрии теории множеств.

Анализ различных проблем, поставленных или подсказанных зеноновой апорией о множестве, с точки зрения теории множеств позволяет нам дать *непротиворечивую* метрическую оценку протяженного линейного отрезка как

совокупности непротяженных точек. Таким образом, математические парадоксы Зенона аннулируются в формальном отношении геометрии, построенной на фундаментальных идеях Кантора.

Отмеченные выше правила сложения длин стандартной математической теории, непротиворечивость метрического анализа которой нам удалось показать, требуют, чтобы бесконечное множество точек, составляющее интервалы на линии, было несчетным. Таким образом, если бы любое бесконечное множество рациональных точек рассматривалось как составляющее якобы протяженный линейный отрезок, рассматриваемая нами обычная математическая теория могла бы ценой отказа от внутренней непротиворечивости утверждать, что длина такого счетного точечного множества должна быть больше нуля. Ибо мы видели, что в стандартной теории и длина интервала и мера точечного множества являются счетно аддитивными. И следовательно, если бы о некотором интервале (a, b) между рациональными точками a и b утверждалось, что он состоит только из счетного числа рациональных точек, расположенных между a и b , то возникла бы следующая логическая ситуация: перечисление этого множества точек в соединении со счетной аддитивностью их нулевых длин допускало бы, что длина (a, b) равна (как это ни парадоксально) нулю. Этот нулевой результат может быть получен вообще без каких-либо ссылок на конгруэнтность и единицу длины, которые обеспечиваются перемещаемым стандартом длины, внешним по отношению к (a, b) . Чтобы подчеркнуть независимость этого результата от внешнего для (a, b) стандарта длины, мы можем сказать, что «внутренняя» длина счетного «интервала» рациональных точек равна нулю, точно так же, как и мера такого «интервала»¹. Может показаться, что в адрес данного вывода относительно фундаментального логического значения несчетности возможны следующие критические замечания. Чтобы избежать метрических противоречий, вытекающих из счетной аддитивности длины и меры, необходимо предположить, что бесконечные точечные множества несчетны. Без этих правил сложения было бы невозможно сделать вывод, что длина и мера счетного точечного множества оказываются равными нулю. Следовательно, если не прини-

¹ См. также: H. C r a m é r, *Mathematical Methods of Statistics*, p. 25.

мать во внимание эти правила сложения, то можно было бы, по-видимому, не впадая в противоречие, приписать конечную длину некоторым счетным множествам и обосновать физическую теорию с помощью геометрии, основанной на понятии счетных множеств. Таким образом, можно было бы утверждать, что несчетное бесконечное точечное множество не всегда является необходимым условием непротиворечивости, поскольку эта необходимость существует только для тех формулировок теории, где длина и мера являются счетно аддитивными.

Чтобы оценить это возражение, нужно отметить прежде всего следующие два положения.

1) Отрицание *счетной аддитивности* для длины и меры повлекло бы за собой утрату той части стандартов, применяемых математиками, которые зависят от наличия в основах математики положения о счетной аддитивности. Так, например, необходимо было бы принести в жертву некоторые из рядов Фурье и собственные функции квантовой механики, равно как и теорию вероятностей и статистику. Ибо счетно-аддитивные функции вводятся в эти области прикладной математики в той или иной форме посредством интеграла Лебега, меры Лебега или интеграла Лебега — Стильбеса.

2) Независимо от требования метрической непротиворечивости в ситуации со счетной аддитивностью сверхсчетность интервалов внутренне присуща предположению о математической непрерывности пространства и времени и тем самым всем тем положениям теорий и эмпирических наук, которые зависят от этого предположения. Те, кто утверждает, что сверхсчетность точечных множеств вовсе не является существенной для физической теории, выдвигают необоснованное требование и не предлагают ничего иного, как только *рекомендацию попытаться* построить физику пространства и времени на основании *счетных* множеств. Чтобы доказать свое утверждение, они должны продемонстрировать выполнение своих рекомендаций, доказав по крайней мере, что одна из отраслей математики, которая избегает апорий Зенона, отказываясь от счетной аддитивности, чтобы постулировать счетность пространства и времени, является вполне жизнеспособной для эмпирических наук в качестве стандартной математики, используемой в реальной физической теории¹. Однако в свете физических соображений, выдвигают

¹ Ибо сомнения относительно тезиса, который утверждает математическую непрерывность пространства и времени, явля-

гавшихся в пользу счетной аддитивности, весьма сомнительно, чтобы физики согласились скрепя сердце принести ее в жертву. В этом существенном смысле метрическая апория Зенона относительно протяженности бросает вызов тем теоретикам, чьи философские обязательства не позволяют им использовать сверхсчетные бесконечные множества.

Сторонники точки зрения Зенона могли бы все же выдвинуть в качестве аргумента утверждение, что это арифметическое опровержение несостоятельно по чисто геометрическим соображениям, говоря, что если протяженность (пространство) должна быть составлена из элементов, то эти элементы сами должны быть протяженными. В частности, геометры, вроде Веронезе, возражали¹ Кантору, что при расположении точек в линейном порядке все их протяженности, так сказать, «суммируются геометрически» перед нами. И с точки зрения этой геометрической перспективы предположение, что даже сверхсчетная бесконечность непротяженных точек была бы в состоянии образовать положительный интервал, не субъективно, по их мнению, особен потому, что теория Кантора может претендовать здесь на арифметическую непротиворечивость только в силу неясности, которая маскирует значение понятия арифметическая «сумма» сверхсчетной бесконечности чисел.

Убедительно ли это возражение Кантору? Не думаю. На чем же основано его правдоподобие? Следует, видимо, предположить, что оно становится убедительным благодаря молчаливому обращению к *образному* представлению точек в математической физике, где они располагаются в последовательном порядке в виде ряда шариков, образующих прямую линию. Однако свойства, которые любая подобная интерпретация приписывает в воображении точкам, как раз и не допускаются формальными постулатами геометрической теории хотя бы даже и в виде предписания. Незаконный характер ссылок на трудности, которые якобы доказывают несостоятельность концепции линии в теории Кантора, становится очевидным, если подчеркнуть, что не только мощность множества точек, составляющего линию, всецело исключает образное ее представление, но также и плот-

ются скорее конвенциональными, нежели эмпирическими (см. главу одиннадцатую).

¹ См.: E. W. Hobson, *The Theory of Functions of a Real Variable*, 2nd ed.; Cambridge: Cambridge University Press, 1921, Vol. I, pp. 56—57.

ность порядка: между любыми двумя точками имеется бесконечное число других. Это полностью противоречит дискретному порядку шариков, расположенных в ряд, *никакая* точка не примыкает непосредственно к любой другой. Тщетность, неуместность и ошибочность попыток наглядно представить себе структуру канторова интервала становятся очевидными из следующего: если исключить одну из конечных точек первоначально замкнутого интервала, открытый «конец» этого интервала *представлял бы непреодолимые трудности* для изображения по причине отсутствия точки, соседней с исключенной.

Эти соображения показывают, что с истинно геометрической точки зрения нельзя получить физической интерпретации формальных постулатов геометрии путем образного представления *индивидуальных* точек геометрической теории. Это неизбежно приводит к неверному пониманию. Напротив, мы можем получить интерпретацию, которая совсем не будет обременена навязанными ей представлениями визуального пространства, которые к делу никакого отношения не имеют, если мы будем ассоциировать с соответствующими телами природы не термин «точка», а термин «*линейный континуум точек*» нашей теории. Под точкой этого тела понимается в таком случае не что иное, как элемент, обладающий формальными свойствами, которые приписываются точке постулатами геометрии. И согласно такой интерпретации, у современных последователей взглядов Зенона выбивается почва из-под ног геометрического *parti pris* (предвзятого мнения) против Кантора.

Иногда упускают из виду, что проблемы, поставленные зеноновой апорией протяженности, имеют не меньшее философское значение, чем проблемы, поставленные его апорией движения. Два примера проиллюстрируют нам, что существует недооценка того урока, который философия должна извлечь из пренебрежения зеноновой апорией протяженности в рамках стандартной математической теории.

1. Рассел пренебрег существенным вкладом, который вносят понятия мощности и порядковой структуры континуума в преодолении математических парадоксов Зенона математической теорией движения. Это философское пренебрежение очевидно из следующего отрывка:

Математики проводят различие между разными степенями непрерывности и ограничивают слово «непрерывный», применяемое в технических целях, рядами, обладающими некоторой высокой

степенью непрерывности. Однако в философском отношении все то, что является существенным в понятии непрерывности, выражается более низкой степенью непрерывности, которая именуется «компактностью» [то есть плотностью]... Что же мы имеем в виду, когда говорим, что движение непрерывно? В наших целях необходимо рассмотреть все то, что подразумевает математик, когда говорит: *только часть того, что он имеет в виду, имеет философское значение*. Отчасти он подразумевает и следующее: если мы рассматриваем любые два положения, которые частица занимает в любые два мгновения, то всегда будет существовать другое промежуточное положение, которое она занимает в некоторое промежуточное мгновение...¹

Мы знаем, что одно лишь существование свойства плотности гарантирует только счетное бесконечное точечное множество. Однако в контексте правил стандартной математики относительно сложения длин необходимость в сверхсчетном бесконечном точечном множестве определяется требованием метрической непротиворечивости. Следовательно, в этом смысле имеются философские основания для требуемой более высокой степени непрерывности, чем та, которая гарантируется только свойством плотности².

2. Греки пришли к открытию несоизмеримых величин, конечно, *не путем* простого неоднократного выполнения операций по перемещению измерительных стержней³. Кроме того, с помощью одних непосредственных физических

¹ B. Russell, *Our Knowledge of the External World*, London: George Allen & Unwin, 1929, pp. 138, 139—140 (курсив мой.— А. Г.).

² Подобные критические замечания можно выдвинуть и в адрес Дедекинда. Он утверждает, что если мы постулируем прерывное пространство, состоящее только из алгебраических точек, то «прерывность этого пространства не будет заметна в евклидовой науке, как будто бы ее вообще нет» (R. Dedekind, *Essays on the Theory of Number*, Chicago: Open Court Publishing Co., 1901, pp. 37—38). Поскольку множество алгебраических точек все еще является счетным (A. Fraenkel, *Einleitung in die Mengenlehre*, New York: Dover Publications, 1946, p. 40), то, согласно представлениям Дедекинда о длине (мере) отрезка, составленного из таких точек, эта длина равна как нулю, так и положительной величине. Поэтому мы не можем согласиться с Вайсманом, который одобрительно комментировал Дедекинда, утверждая, что, «коль скоро дело касается физического пространства, становится обычным признание справедливости этой трактовки» (F. Waismann, *Introduction to Mathematical Thinking*, New York: F. Ungar Publishing Co., 1951, p. 212).

³ Исторические подробности приведены в: K. von Fritz, *The Discovery of Incommensurability by Hippasus of Metapontum*, «Annals of Mathematics», Vol. XLVI (1945).

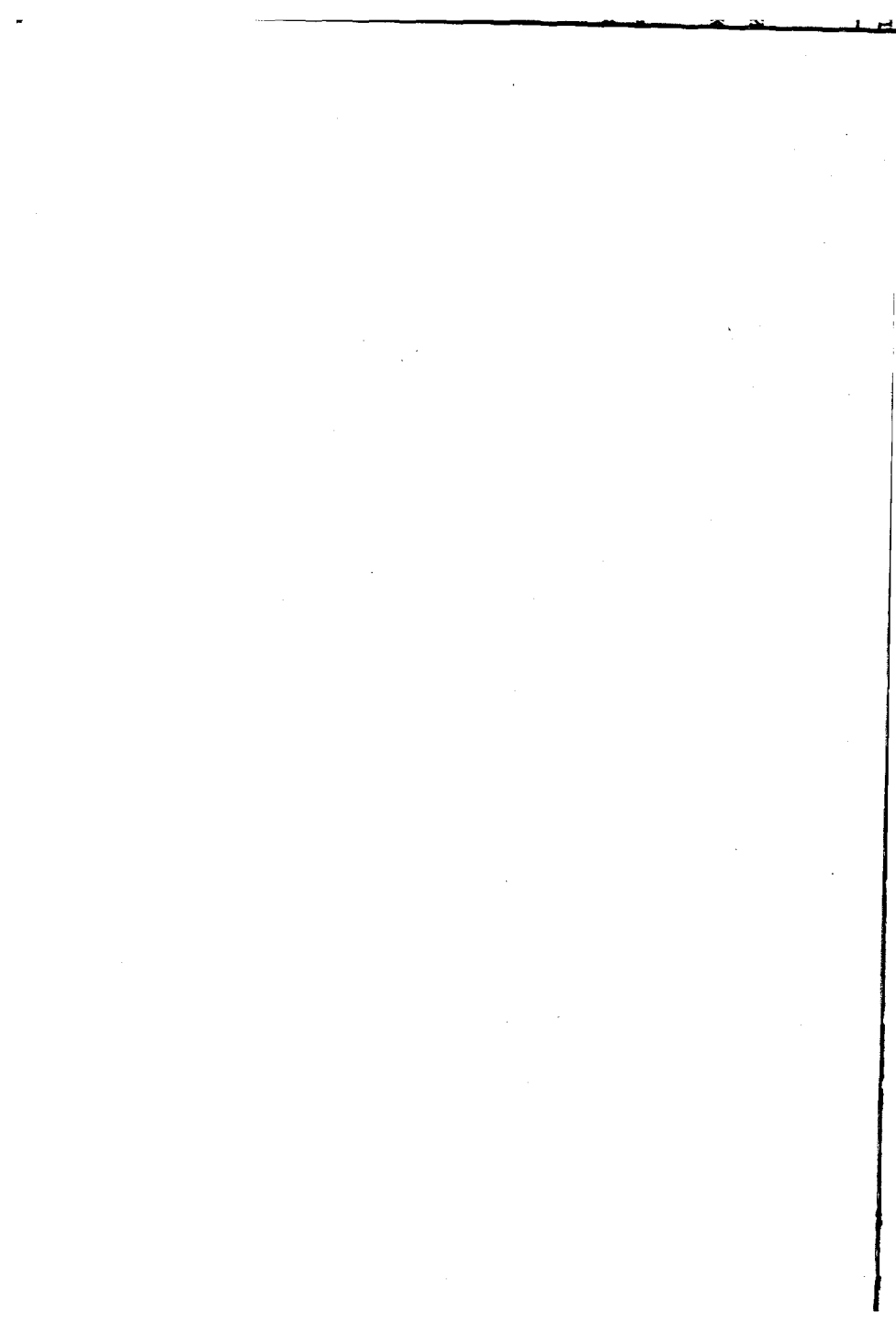
операций нельзя доказать, что существуют гипотенузы, длина которых не может быть представлена ни одним рациональным числом. Ибо пределы точности эксперимента и плотность множества рациональных точек гарантируют, что в силу одной только точности операций мы никогда не сможем прийти к чему-нибудь еще, кроме рациональных результатов. Радикальный операциональный подход к геометрии может поэтому внушить мысль, что эта наука построена так, что использует только рациональные точки¹.

Анализ, проведенный в данной главе, имел целью доказать, что, коль скоро отсутствует опирающаяся на счетные множества альтернативная по отношению к стандартной математике, жизнеспособность которой в смысле описания физических явлений можно было бы доказать, такой операциональный подход к геометрии и к теоретическим измерениям физики должен быть отвергнут исходя из логических соображений².

¹ См. аппроксимативную геометрию Ельмслева [J. Hjelmslev, Die natürliche Geometrie, «Abhandlungen aus dem mathematischen Seminar der Hamburger Universität», Bd. II (1923), S. 1ff.], и комментарий на нее Вейля (H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science, pp. 143—144).

² Критическое рассмотрение точки зрения Грюнбаума по данному вопросу см. в книге Ю. А. Петрова «Логические проблемы абстрактной бесконечности и осуществимости», М., 1967, стр. 121—131.—Прим. перев.

Часть II
ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТОПОЛОГИИ
ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВА



ПРИЧИННАЯ ТЕОРИЯ ВРЕМЕНИ

Причинная теория времени, которая занимала важное место в трудах Лейбница и Канта, в нашем столетии вновь стала одним из центральных предметов философского рассмотрения после детальной ее разработки и логического анализа в работах Лешелье¹, Рейхенбаха², Левина³, Карнапа⁴ и Мельберга⁵. Особое значение она приобрела в последнее десятилетие благодаря той роли, которая ей отводилась в работах Рейхенбаха⁶ и Карнапа⁷, завершившихся убедительным и блестящим построением релятивистской топологии пространства и времени. Релятивистская теория

¹ G. L e s c h a l a s, *Étude sur l'espace et le temps*, Paris: Alcan Publishing Co., 1896.

² H. R e i c h e n b a c h, *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre*, Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sons, 1924.

³ K. L e w i n, *Die zeitliche Geneseordnung*, «*Zeitschrift für Physik*», Bd. XIII (1923), S. 16.

⁴ R. C a r n a p, *Über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit*, «*Kantstudien*», Bd. XXX (1925), S. 331.

⁵ H. M e h l b e r g, *Essai sur la théorie causale du temps*, «*Studia Philosophica*», Vol. I (1935), and Vol. II (1937).

⁶ H. R e i c h e n b a c h, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, Berlin: Walter de Gruyter, 1928, S. 307, 308. В дальнейшем даются ссылки на английское издание этой работы: H. R e i c h e n b a c h, *The Philosophy of Space and Time*, Dover Publications, 1958.

⁷ R. C a r n a p, *Abriss der Logistik*, Wien: Julius Springer, 1929, Abt. 36, S. 80—85. См. также его «*Symbolische Logik*», Wien: Julius Springer, 1954, Abt. 48—50, S. 169—181; в английском переводе: «*Introduction to Symbolic Logic and Its Applications*», New York: Dover Publications, 1958. Для сравнения кантовской версии теории с концепциями, предложенными Карнапом, Рейхенбахом и Мельбергом, см.: H. S c h o l z, *Eine Topologie der Zeit im Kantischen Sinne*, «*Dialectica*», Bd. IX (1955), S. 66.

времени была использована нами для семантического доказательства того, что с точки зрения отношения «*позже чем*», видимо, имеет смысл говорить о физических событиях, что им присуще свойство *плотности*, характеризующее линейный континуум Кантора, которое, как известно, не укладывается в интуитивные представления. Таким образом нам удалось найти семантическую *pergus probandi* (нить исследования), которая отсутствовала в математическом анализе апорий Зенона, проделанном Расселом¹.

Чтобы оценить причинную теорию времени с философской точки зрения, следует рассмотреть, можно ли понять физический смысл первичных (*primitive*) асимметричных причинных отношений, используемых в большинстве вариантов этой теории, не предполагая а priori никаких *временных* условий, которые эта теория намеревается определить. Поэтому данная глава будет посвящена проверке основных аргументов «за» и «против» причинной теории времени, и мы начнем с рейхенбаховской интерпретации этой теории, основанной на методе маркировки².

Мы намереваемся показать, что: 1) с помощью метода маркировки Рейхенбаха нельзя определить последовательный порядок времени в рамках класса физических событий, поскольку всякая попытка определить искомые асимметричные отношения приводит к логическому кругу; 2) хотя классическая версия причинной теории времени Лейбница — Рейхенбаха является уязвимой в отношении данных критических замечаний, все же представляется возможным определить *временное отношение «между»* («temporal betweenness»), постулируя причинную непрерывность обратимых механических процессов. Однако, если отношение «между», которое устанавливается на основе причинной непрерывности, должно обладать теми же формальными свойствами, что и трехчленное отношение, устанавливающее порядок точек на незамкнутой (прямой) линии, *не имеющей направления* [это отношение будет впредь именоваться «*о-отношение «между»*» («*o-betweenness*»)], то определяющими будут

¹ A. Grünbaum, *Modern Science and Zeno's Paradoxes*, London: Allen & Unwin, 1968, Chap. II, § 2 C, pp. 56—64.

² H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, pp. 135—138.

номологически случайные граничные условия. И наоборот, граничные условия могут привести к такому порядку времени, который обнаруживает формальные свойства, присущие порядку точек на замкнутой (круговой) линии, не имеющей направления. Этот порядок устанавливается четырехчленным отношением разделения, которое впредь будет именоваться «разделенностью на замкнутой кривой» («separation closure»); 3) в отличие от метода маркировки другой метод, предложенный Рейхенбахом позднее, правда при условии значительной его модификации, а именно метод определения анизотропии времени как статистического свойства энтропийного поведения пространственных ансамблей «ответившихся систем», представляется более верным¹, однако 4) концепция Рейхенбаха относительно становления как непрерывного прохождение (transience) физических различимых «теперь» вдоль одного из двух противоположных направлений времени оказалась несостоятельной. Из этих четырех положений 1) и 2) будут рассмотрены в данной главе, а 3) и 4) — в главе восьмой (раздел А, II) и в главе десятой соответственно.

Рейхенбах вводит свой метод маркировки, предлагая следующее топологическое координативное определение временной последовательности²: «Если E_2 есть следствие E_1 , то можно сказать, что E_2 произошло позже, чем E_1 ». Для доказательства того, что можно определить причинность как асимметричное временное отношение, не впадая в логический круг, он указывает на то, что когда E_1 является причиной E_2 , то незначительные изменения E_1 в виде добавления маркирующего события e будут связаны с соответствующими изменениями в E_2 , но не наоборот. Таким

¹ H. Reichenbach, Les fondements logiques de la mécanique des quanta, «Annales de l'Institut Henri Poincaré», Vol. XIII (1953), pp. 140—158, and «La signification philosophique du dualisme ondes-corpuscules», в: A. George (ed.), Louis de Broglie, Physicien et Penseur, Paris: Editions Albin Michel, 1953, pp. 126—134.

² H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 136. См. также: G. W. Leibniz, Initia rerum mathematicorum metaphysica, «Mathematische Schriften», Hrsg. Gerhardt, Berlin: Schmidt's Verlag, 1863, Bd. VII, S. 18; H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science, pp. 101, 204, and «50 Jahre Relativitätstheorie», «Naturwissenschaften», Bd. XXXVIII (1951), S. 74. А. Пуанкаре, Последние мысли, стр. 80—81.

образом, если событие E , которое слегка изменилось (замаркировано), мы обозначим как E^e , то обнаружим, что возможны только следующие комбинации:

$$E_1 E_2 \quad E_1^e E_2^e \quad E_1 E_2^e$$

и невозможна комбинация $E_1^e E_2$.

В наблюдаемых комбинациях события E_1 и E_2 играют асимметричную роль, определяя тем самым порядок. При этом совершенно ясно, что этот порядок не зависит от перемены верхних показателей в символах, обозначающих рассматриваемые события. Событие, символ которого не содержит показателя e , в той комбинации, которая является невозможной, называется следствием и более поздним¹.

Рейхенбаховская формулировка этого принципа не содержит никаких ограничений для причинных цепей, которые обладают либо субстанциальным генетическим тождеством (*material genidentity*), как, например, камень, либо обладают квазисубстанциальным генетическим тождеством, как, например, световые лучи. Таким образом, поскольку иллюстрации, даваемые Рейхенбахом этому принципу, охватывают как камни, так и лучи света, его можно интерпретировать достаточно широко как принцип, вообще свободный от ограничений подобного вида. Кроме того, не ясно даже из примера с камнем, относятся ли три наблюдаемые пары событий к трем, а не к одной только или, скажем, двум различным генетически тождественным причинным цепям. Решающее значение здесь имеет установление того, может ли подобное ограничение устранить возможные критические замечания в адрес данного метода, к чему мы вскоре вернемся. Соответственно будут сформулированы и те возражения, которых стремятся избежать с помощью этого ограничения.

Иллюстрацией применения метода Рейхенбаха является попытка Тейлора доказать его независимость от предварительного знания временного порядка, что, кстати, позволит нам сформулировать ряд возражений².

¹ H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, p. 137.

² W. B. Taylor, *The Meaning of Time in Science and Daily Life*, Los Angeles: University of California at Los Angeles, 1953, pp. 37—39.

В темной комнате в противоположных стенах имеются два отверстия, через которые проходит световой луч. Источник света находится за одной из этих стен. Если мы смотрим на луч, находясь в комнате, мы не можем сказать, в каком направлении идет свет: слева направо или справа налево, и тем самым определить расположение источника. Чтобы установить направление этого причинного процесса, выделим три события E_L , которые произошли на левом конце луча, и три события E_R , которые произошли на правом конце. Теперь предположим, что *одно* из этих трех событий на *каждом* из концов луча *замаркировано*, скажем, путем перекрытия луча прозрачным цветным стеклом в том месте и в то мгновение, когда это событие происходит. Суть требования Рейхенбаха состоит в том, что если события E_L являются соответствующими (частичными) причинами событий E_R , то мы будем наблюдать только следующие комбинации

$$E_L E_R \quad E_L^c E_R^c \quad E_L E_R^c,$$

но комбинация $E_L^c E_R$ невозможна.

Мы сейчас покажем, что для получения этих частных пар событий, с помощью которых по указанному выше методу Рейхенбах пытается определить асимметричное отношение, он все же должен либо использовать молчаливо заранее известные ему сведения о временных отношениях, что недопустимо, либо ввести специальное условие о *необратимости* процессов маркировки. Ибо при отсутствии информации относительно временного порядка в пределах каждого из триплетов событий на левом или правом конце луча мы имеем право сказать только то, что результаты наших наблюдений над этими двумя группами событий можно сгруппировать в *нейтральной по отношению ко времени* форме треугольника

$$\begin{array}{ccc} & E_L & E_R^c \\ E_L & E_L^c & E_R \quad E_R^c \end{array}$$

И тогда, не располагая информацией о времени, мы имеем право *интерпретировать* наши данные относительно тех эффектов, которые мы наблюдали с помощью трех комбинаций

$$E_L E_R^c \quad E_L^c E_R \quad E_L^c E_R^c;$$

при этом комбинация $E_L^c E_R^c$ невозможна.

Согласно программе Рейхенбаха, эта последняя интерпретация является вполне законной так же, как та частная группировка событий, которая была предложена им самим и которая в свою очередь представляет собой не более чем интерпретацию. Однако законность этой противоположной интерпретации наносит смертельный удар по требованию того же Рейхенбаха, чтобы E_L и E_R играли асимметричную роль, ибо противоположная интерпретация допускает как раз ту комбинацию E_L^e и E_R , запрещенную которой должно было доказать, что E_R произошло позже, чем E_L .

Даже если мы знаем, что временная последовательность событий *в пределах* каждого из этих триплетов является, скажем,

$$\begin{array}{cc} E_L & E_R \\ E_L^e & \text{и} \ E_R^e \\ E_L & E_R^e, \end{array}$$

где направление *сверху вниз* представляет собой направление возрастания времени, все же остается неясным, какое частное событие в правом столбце будет связано с событием в левом и составлять с ним пару. Следовательно, причинная теория Рейхенбаха позволяет нам, говоря о двух внутренне *упорядоченных* триплетах событий, составлять пары событий таким образом, что справедливой оказывается как его собственная асимметричная интерпретация, так и противоположная интерпретация, о которой шла речь выше. Противоположная интерпретация может быть получена путем комбинирования первого события из колонки E_L со вторым в колонке E_R и соответственно третьих событий в двух колонках, а также второго в колонке E_L с первым в колонке E_R .

Однако не только справедливость противоположной интерпретации является источником трудностей для метода маркировки. Поскольку критерий для объединения в пары пространственно разделенных событий, о которых идет речь, отсутствует, мы можем непреднамеренно замаркировать импульс, который на самом деле был излучен событием E_L^e после его прибытия направо вместо того, чтобы замаркировать один из двух других импульсов, которые *незамаркированными* событиями излучены налево. Поскольку импульс, приходящий от E_L^e , уже несет метку, маркировка этого частного импульса после прибытия его напра-

во будет *излишней*. Тогда мы можем интерпретировать наши данные таким образом, что они составят следующие комбинации

$$E_L E_R \quad E_L^e E_R^e \quad E_L E_R,$$

в которых осуществление E_L и E_R полностью симметрично¹.

Сторонник метода маркировки не может, конечно, отвести этот ставящий его в затруднение вывод, выдвигая требование, чтобы мы наносили метки в правом конце только на те импульсы, которые ими не обладают².

Равным образом бесполезной оказалась и попытка Тейлора доказать справедливость метода маркировки.

В примере со световым лучом говорилось, что мы сперва отмечаем E_L , а *затем* (в более поздний момент) смотрим, появится ли эта метка в E_R . В таком случае данная методика использует временной порядок, что является нежелательным. Однако эту методику можно усовершенствовать, выдвигая условие, что нужно поместить E_L и наблюдать (здесь употребляется безвременная форма глагола «наблюдать»), появляется ли та же самая метка («появляется» опять в безвременной форме) в E_R , которое каузально связано с E_L . Причина того, почему создается видимость заранее предполагаемого временного порядка, состоит, видимо, в том, что мы должны использовать глаголы (такие, как «наблюдать», «появляться») для описания процедуры нанесения меток. Но английские глаголы в обычном употреблении обладают грамматическим временем, и, следовательно, нельзя обойтись без ссылки на время. Если же наблюдатель не сам маркирует события, а перекладывает это на других, тогда логического круга не возникает. В этом случае он просто наблюдает события пары $E_L E_R$ и смотрит, в какой последовательности появляются метки³.

¹ Используя термин «частичная причина» для обозначения некоторых событий как *неодновременных*, Гуго Бергман выдвинул другой аргумент в пользу переменной *симметрии* причины и следствия («Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik», Вгаунсшвейг, 1929, S. 16—19). Он обнаружил, что Рейхенбаху удалось доказать только то, что изменение одной из частичных причин не изменяет других, а не то, что следствие может измениться и без изменения причины. Возражение Рейхенбаха («Das Kausalproblem in der Physik», «Naturwissenschaften», Bd. XIX [1939], S. 719) Бергману было обесценено его же последующим признанием допущенной здесь неточности («Направление времени», стр. 265) [Рейхенбах действительно признает неточность, но ссылается на другие работы, а не на ту, которая указана Грюнбаумом.— *Прим. перев.*]

² Подобные возражения были выдвинуты Мельбергом (см.: «Essai sur la théorie causale du temps», Vol. I, pp. 214—215).

³ W. B. T a y l o r, The Meaning of Time in Science and Daily Life, pp. 38—39.

Этот аргумент несостоятелен, поскольку мы видели, что нельзя, не зная временного порядка, «просто наблюдать» данные нам в наблюдении частные пары событий $E_L E_R$ и смотреть, в какой последовательности появляется метка e . Проблема состоит не в том, что время уже предполагается при упоминании о временной последовательности обозначений уже известных нам пар событий или при установлении результата первого и наблюдения одного события такой пары, а затем другого. Трудность состоит в другом, а именно временной порядок предполагается в самом начале при отборе событий в три особые пары, о которых говорит Рейхенбах, а не при рассмотрении взаимного расположения событий внутри этих пар после того, как сами пары уже подобраны. Поскольку мы гарантируем уникальность предлагаемого Рейхенбахом выбора пар событий, утверждение о том, что временной порядок весьма явно предполагается при описании эксперимента, является совершенно правильным, ибо E_L и E_R происходят в этих парах асимметрично независимо от порядка, в котором они уже пронумерованы в пределах этих пар.

Дальнейшая трудность, которая, как оказалось, имеет важное значение для отношения причинности к анизотропии времени, состоит в том, что в случае обратимых маркирующих процессов (если таковые имеются) метод маркировки не может опираться на временное отношение «между», чтобы предотвратить неудачу эксперимента. Ибо, как правильно заметил Мельберг при анализе причинной теории времени¹, если можно было бы каким-либо способом снять метки с сигнала, излученного из E_L в то время, когда сигнал находится в пути, то эксперимент привел бы к комбинации $E_L^e E_R$, которая запрещается Рейхенбахом. Для того чтобы предотвратить эту возможность, метод маркировки должен быть либо признан неудачным ввиду требования рассматривать физическую систему как замкнутую в течение временного интервала между E_L^e и E_R^e ², либо

¹ H. M e h l b e r g, Essai sur la théorie causale du temps, Vol. I, pp. 214, 207—257.

² В другой связи Рейхенбах определял замкнутую систему как такую, в которой «не имеют места дифференциальные силы» (см.: «The Philosophy of Space and Time», pp. 22—23, 118). Дифференциальными силами являются силы, наличие которых соотносится с различной степени изменениями, происходящими в материалах разных видов. Однако отсутствие изменений в любое

он должен применяться к необратимым маркирующим процессам, таким, как прохождение светового луча через цветное стекло.

Поэтому возникает вопрос, не вытекает ли из требования *необратимости* маркирующих процессов предположение о необходимости введения нового критерия временного порядка, поскольку это предположение основывается на гораздо более ограниченном классе явлений, чем тот, к которому применимо понятие причинности, ибо последний включает также и *обратимые* процессы. В самом деле, если смысл причинности правильно эксплицируется методом маркировки и если этот метод (оставим в стороне другие трудности, с которыми он связан) может способствовать успеху в определении последовательного временного порядка через *асимметричное* причинное отношение только тех причинных процессов, которые являются необратимыми сами по себе, или тех, которые становятся необратимыми в результате применения метода маркировки, то в таком случае можно сделать два вывода. Во-первых, причинность, как таковая, *недостаточна* для определения тех топологических свойств физического времени которые обуславливаются необратимыми процессами, и, во-вторых, причинный критерий Рейхенбаха не может быть логически *независимым* от критерия, основанного на таких процессах. Хотя Рейхенбах склонялся в 1924 году в своей книге «Аксиоматика релятивистской теории пространства-времени» к тому, чтобы обсудить эту проблему, поскольку он допускал в то время, что вопрос о независимости этих двух критериев остается открытым, тем не менее он утверждал, что автономность причинного критерия и характеристики гармоничного временного порядка, опирающегося на причинность, с одной стороны, и необратимость процессов — с другой, можно рассматривать как эмпирический факт¹. В последней

данное мгновение означает постоянство определенного значения (или значений) *в пределах* временного отрезка, содержащего данное мгновение (при этом не предполагается никакой *анизотропии* времени). Таким образом, Рейхенбах признает, что понятие замкнутой системы предполагает существование временного отношения «между», вытекающее из временного порядка. Мы видим, что в данном случае знание временного отношения «между» предполагается формулировкой второго закона термодинамики, который касается *замкнутых* систем.

¹ H. R e i c h e n b a c h, Axiomatik der Relativistischen Raum-Zeit-Lehre, S. 21—22. Критические комментарии к ранним взглядам

статье, опубликованной до его смерти, которая была посвящена именно этому предмету, и в своей книге «Направление времени», вышедшей посмертно, он отказался от претенциозной программы определения последовательного анизотропного порядка времени с помощью метода маркировки. Вместо этого он предложил метод, основанный не только на причинности, но и на определенном виде термодинамической необратимости¹. В следующей главе мы подвергнем критическому анализу этот метод и увидим, в каком специфическом смысле необратимые процессы могут способствовать определению анизотропии времени.

Прежде чем перейти к рассмотрению других вопросов, следует остановиться на одной важной проблеме, с которой сталкивается причинная теория времени.

Согласно этой теории, существование *действительной* причинной цепи, связывающей два события, является только достаточным, но не необходимым условием для доказательства того, что они произошли в разное время. То же справедливо для любых двух событий, обладающих только физической *возможностью* стать звеньями причинной цепи, если никаких реальных цепей, связывающих их, не существует. Таким образом, определяющей для установления разделенности событий во времени является возможность установить между ними связь с причинной точки зрения, а не наличие такой связи. И для установления топологической одновременности событий решающей является невозможность установления причинной связи между ними, а не отсутствие такой связи. Однако в таком случае, как отметил Мельберг², физическая возможность в свою очередь должна определяться или пониматься таким образом, чтобы не предполагалось обычное понятие времени, содержащееся в законах, опираясь на которые мы можем ска-

Рейхенбаха, изложенным в этой работе, см. в: E. Z i l s e l, Über die Asymmetric der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit, «Naturwissenschaften», Bd. XV (1927), S. 282.

¹ H. R e i c h e n b a c h, Les fondements logiques de la mécanique des quanta, pp. 137—138; «Направление времени», стр. 71 и сл. Для ознакомления с более ранними взглядами см.: «The Philosophy of Space and Time», pp. 138—139; «The Philosophical Significance of the Theory of Relativity», pp. 304—306; «Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis», «Handbuch der Physik», Berlin: Julius Springer, 1929, Bd. IV, S. 53, 59—60, 64, 65.

² H. M e h l e r g, Essai sur la théorie causale du temps, Vol. I, pp. 191, 195; Vol. II, p. 143.

зать, какие причинные процессы являются физически возможными. Не видно, чтобы теория разбиения причин, предложенная Мельбергом¹, давала возможность как-то обойти эти трудности. Так, он утверждает, что не-*E* должно быть физическим событием, если таковым является *E*. И на основании этого Мельберг считает, что любые два события, которые являются членами физически возможных цепей, должны поэтому рассматриваться как связанные причинным образом на самом деле. Мельберг считает, что ему удалось установить действительное, а не только потенциальное существование всех необходимых причинных цепей путем утверждения, что для любого события, не относящегося к классу одновременных событий, существует в этом классе по крайней мере одно событие, с которым оно находится в причинной связи².

Мы видели, что метод маркировки оказался несостоятельным по причине логического круга. Прежде всего применение этого метода предполагает наличие критерия, согласно которому можно установить, какое из пары причинно связанных событий является причиной и, следовательно, расположено в анизотропном времени раньше другого. Кроме того, сам метод оказался уязвимым против обвинения в том, что им молчаливо используются временные критерии для выбора именно таких пар событий, которые обеспечивают, по существу, успешное его применение. Несмотря на неудачу вариационной концепции причинности, разработанной при помощи метода маркировки, все же для определения некоторых топологических свойств времени является приемлемым, как мы вскоре увидим, тот вид причинности, который присущ обратимым процессам. Хотя Лейбниц и последующие сторонники его причинного определения отношения «позже чем»³ допускали ошибку в оценке характера и степени логической связи между

¹ H. Mehlberg, *Essai sur la théorie causale du temps*, Vol. I, pp. 165—166, 240—241; Vol. II, pp. 145—146, 169—172.

² *Ibid.*, Vol. II, p. 169.

³ Вопрос о том, какую роль играла концепция Лейбница в происхождении причинной теории времени, обсуждается в статье Рейхенбаха «Die Bewegungslehre bei Newton, Leibniz und Huyghens» [*Kantstudien*], Bd. XXIX (1924), S. 416]. См. также перевод этой статьи на английский язык, осуществленный Марией Рейхенбах в посмертном издании избранных статей Рейхенбаха, озаглавленном «Современная философия науки» (*Modern Philosophy of Science*), London, 1959, pp. 46—66).

топологическими свойствами времени и структурой причинных цепей, их утверждения относительно существования такой связи были верными. Мы сейчас увидим, что обратимые причинные процессы в классе физических событий, определяющие генетическое тождество, на самом деле определяют порядок временного отношения «между» (хотя бы только отчасти), а также отношение «одновременно».

В отличие от метода маркировки наша концепция будет характеризоваться следующими чертами: во-первых, мы рассматриваем такой вид причинных отношений между двумя различными событиями, когда эти отношения являются *симметричными* и не содержат никаких ссылок на то, что из двух событий именно это является причиной другого: критерий для установления причины будет сформулирован позже, а именно в восьмой главе; во-вторых, мы будем стремиться избежать асимметрии, которая еще сохраняется в наших рассуждениях, и поэтому не будем ссылаться на то, что отношение «раньше чем» также покоится по сути дела на причинных отношениях; в самом деле, последнее отношение, как мы увидим, оказывается нейтральным относительно того, обладает ли временной порядок формальным свойством *o*-отношения «между», присущим точкам прямой линии, не имеющей направления, или же он обладает свойством «разделенности на замкнутой кривой», присущим точкам не обладающего направлением круга¹. Существование *o*-отношения «между» для времени, с нашей точки зрения, будет зависеть от *граничных* условий, определяющих отношения различных причинных цепей друг к другу, а не от

¹ Порядок точек на не обладающем направлением круге, который мы называем здесь «разделенностью на замкнутой кривой», вообще в литературе называется «разделением пар точек». Это порядок точек на *замкнутой* ненаправленной линии относительно трехчленного отношения *ABCD*, установленного между точками *A*, *B*, *C*, *D* путем разделения пары *BD* с помощью пары *AC*. Аксиомы разделения пар точек и для *o*-отношения «между» см. в: E. V. Huntington, Inter-Relations Among the Four Principal Types of Order, «Transactions of the American Mathematical Society», Vol. XXXVIII (1935), pp. 1—9. См. также: E. V. Huntington and K. E. Rosinger, Postulates for Separation of Point-Pairs (Reversible Order on a Closed Line), «Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences» (Boston), Vol. LXVII (1932), pp. 61—145; J. A. H. Shepperd, Transitivity of Betweenness and Separation and the Definitions of Betweenness and Separation Groups, «Journal of the London Mathematical Society», Vol. XXXI (1956), pp. 240—248.

причинности самой по себе; и, в-третьих, вместо поисков различных интерпретаций причинности на манер метода маркировки мы будем исходить из наличия материальных объектов, каждый из которых обладает генетическим тождеством. Члены множеств событий, составляющих карьеру одного и того же точечного материального предмета, связаны друг с другом первичным (primitive) отношением генетического тождества. Любые два генетически тождественных события причинно связаны, но обратное утверждение неверно. Рассмотрим причинные отношения любой пары событий, относящихся к причинной цепи генетического тождества.

Рассмотрим любой (мысленно) *обратимый* причинный процесс генетического тождества, например качение шара по полу комнаты вдоль траектории, соединяющей две точки на полу P и P' . Мы ограничиваемся пока процессами, которые обратимы и номологически и де-факто, и тем самым отказываемся от каких-либо ссылок на анизотропию времени, поскольку последняя зависит, как мы увидим в восьмой главе, от процессов, которые де-факто (и статистически) *необратимы*. Следовательно, в нашем случае, который является изотропным по отношению к времени, что исключает какой бы то ни было вид необратимых процессов, не существует никаких объективных физических оснований, чтобы сказать об *одном* из двух причинно связанных событий, что именно «это» событие есть причина, и именно «это» — следствие. Ибо обозначение из двух событий именно «этого» как причины зависит от признания того, что данное событие произошло *раньше* другого, и при отсутствии необратимых процессов эта характеристика выражает не объективное физическое отношение, которое может подтвердить это высказывание, а только соглашение о том, что данному событию приписывается меньшая величина времени. Напротив, при наличии необратимых процессов получается следующий результат: во-первых, отношение, именуемое «раньше чем», обозначает *объективное* физическое отношение, которое *отличается* от обратного ему объективного отношения, именуемого «позже чем», и, во-вторых, указание, что из двух причинно связанных событий именно «это является причиной» другого, выражает атрибуты этого события, отличные в физическом отношении от атрибутов другого события, которое может быть обозначено как именно «это является следствием». Теперь вернемся к причинному процес-

су качения шара, выражающему обратимое генетическое тождество, из описания которого мы элиминировали всякие ссылки на анизотропию времени. Ясно, что отказ от каких-либо ссылок на атрибуты, зависящие от анизотропии времени, делает *симметричными*¹ нерудиментарные *причинные* отношения, которые соединяют события этой обратимой причиной цепи генетического тождества. Свойства такого *симметричного* причинного отношения будут исчерпывать все свойства причинности в том мире, где все процессы обратимы де-факто.

Можно ли дать ясное определение этого симметричного причинного отношения, не используя никаких временных понятий, которые мы вначале намеревались определить с его помощью. Все попытки, предпринимавшиеся в этом направлении (о чем автору известно либо из литературы, либо по собственному опыту), встречаются с непреодолимыми трудностями, тесно связанными с теми, на которые наталкивались при изучении формулирующих закон (lawlike) сослагательных условных предложений Гудмен и другие². Предположим, что мы пытаемся определить симметричное причинное отношение между двумя событиями E и E' , находящимися в отношении генетического тождества, путем доказательства того, что одно из этих двух событий является достаточным и необходимым условием осуществления другого в том смысле, что если совокупность событий, составляющих вселенную U , содержит событие типа E , то она также содержит событие типа E' , и если U не содержит E -подобных событий, то она не будет содержать и E' -подобных событий. При этом вообще не было сделано никаких ссылок на то, что одно из этих двух событий происходит *раньше* другого в том смысле, в котором предполагается анизотропия времени. Однако эта попытка дать определение будет несостоятельной по следующим причинам: 1) утвер-

¹ В восьмой главе мы приведем основания, по которым отклоняются возражения относительно этого вывода, сформулированные Рейхенбахом в «Направлении времени» (стр. 52).

² См.: N. Goodman, Fact, Fiction and Forecast, Cambridge: Harvard University Press, 1955, esp. pp. 13—31.

Примечательно, что даже в ситуации, отличной от нашей, предполагая временное понятие «позже», Льюис пришел к выводу (см. его «Analysis of Knowledge and Valuation» [LaSalle: Open Court Publishing Co., 1946]), что союз «если... то», встречающийся в причинных утверждениях, не поддается анализу, и это говорит о неопределимости отношения «если... то» реальных связей.

ждение относительно экзистенциальной полноты E либо тавтологично, либо внутренне противоречиво. Оно зависит от того, содержится ли в его antecedенте предположение о том, что U содержит или не содержит E' ; 2) соответствующее утверждение об экзистенциальной необходимости либо внутренне противоречиво, либо тавтологично опять же в зависимости от его antecedента, а именно устроена ли U таким образом, что E' является одним из ее элементов или нет; 3) попытки превратить эти тавтологичные или внутренне противоречивые утверждения в истинно синтетические, формулируя эти требования не относительно *самой* U , а относительно соответствующих характеристик, присущих *подсистемам* U , упирается а) в необходимость использовать *временные* критерии для ограничения числа элементов этих подсистем и б) в нашу неспособность установить *все соответствующие условия*, которые должны содержаться в antecedенте, чтобы утверждение относительно экзистенциальной полноты E было верным.

Громадные трудности, на которые наталкивается попытка ограничить перечисление соответствующих условий¹, не устраниются, а только получают другое наименование (если пользоваться выражением Пуанкаре). Так обстоит дело, когда физики в antecedентах, которые они используют при причинном описании физических процессов, ссылаются на общее состояние *замкнутой системы*. Вместо того чтобы помочь нам понять *ceteris paribus* (при прочих равных условиях) содержание этого предположения, введение понятия замкнутой системы только отодвигает проблему, ибо в таком случае нужно установить *условия*, осуществление которых повсюду *вне* системы в огромном световом конусе Минковского или в непосредственном пространственном окружении системы необходимо для того, чтобы система могла считаться *замкнутой*. Мы также видели (см. стр. 234—235, сноску 2), что понятие замкнутой системы предполагает понятие временного отношения «между».

Эти соображения наводят на мысль, что в данном случае мы вводим симметричное причинное отношение как *первичное* (primitive) отношение, намереваясь определить с его помощью временные отношения «между», а также отношение одновременности. Читатель сразу же поставит вопрос, поче-

¹ Многие из этих трудностей довольно подробно обсуждались Гудменом (см. его «Fact, Fiction and Forecast», pp. 17—24).

му такое сведение этих понятий временного порядка к подобным первичным отношениям нельзя отвергнуть, отказываясь платить за это слишком дорогой эпистемологической ценой. На этот вопрос можно дать разные ответы, и каждый из них будет довольно веским. .

1) Несмотря на трудности, с которыми сталкиваются различные версии причинной теории времени, начиная с Лейбница, специальная теория относительности, сформулированная Эйнштейном и Минковским, усматривала основу временного порядка физического мира в его причинном порядке, опираясь на цепи воздействий (сигналы). Хотя теория относительности, подобно любой геометрии или любой другой научной теории может быть аксиоматизирована несколькими различными способами (по крайней мере в принципе), опирающимися на различные системы фундаментальных предпосылок, аксиоматизация релятивистской топологии времени на основе причинных цепей (сигналов) дает значительные доводы в пользу такой причинной теории времени, которая была бы в философском отношении убедительной.

2) Именно объяснение некоторых временных свойств физического мира на основе его причинных свойств и принадлежность человеческого организма к этому причинному физическому миру приводит нас к ожиданию, что причинные акты вмешательства (даже в том случае, если они обратимы), на которые опирается проверка теории Эйнштейна—Минковского, будут подчиняться временному порядку и требуют от нас — организмов, обладающих сознанием, — опираться при их практическом выполнении на наше психологическое чувство времени.

3) Предлагаемая ниже мотивировка особой версии причинной теории времени, в которой предпринимается попытка освободиться от ссылок на психику при выборе оснований аксиоматики, опирается на следующие две предпосылки: а) на тезис астрофизики (космогонии) и биологической теории эволюции человека о том, что временность (*temporality*) есть существенное свойство физического мира независимо от существования человека и его сознания и, следовательно, его можно объяснить как чисто физический атрибут тех преобладающих областей пространства-времени, где нет никаких сознательных существ, и б) на точку зрения философского натурализма, согласно которой человек представляет собой часть природы, и те свойства его сознания, которые

обязаны быть изоморфными или же подобными свойствам, приписываемым неодоушевленному физическому миру, должны объясняться с помощью законов и атрибутов, которыми обладает мир, не зависящий от человеческого сознания. В соединении с некоторыми результатами статистической термодинамики та версия причинной теории временного порядка, которая будет излагаться ниже, позволит дать общую оценку некоторых фундаментальных свойств физического и психологического времени. Поскольку тело человека принимает участие в тех чисто физических процессах, которые определяют временные свойства неодоушевленного сектора мира и на которые отчасти проливает свет причинная теория времени, эта теория поможет нам понять и некоторые из свойств психологического времени.

Однако хватит приводить аргументы в пользу рудиментарных симметричных причинных отношений и говорить о стремлении избежать ссылок на психологическое время¹.

Теперь, если мы сталкиваемся с ситуацией, в которой два реальных события E и E' являются *генетически тождественными*, и следовательно, причинно связанными в упомянутом выше рудиментарном *симметричном* смысле — или « k -связаны», как мы в дальнейшем будем говорить для крат-

¹ За отказ от ссылок на *феноменистические* отношения при концептуальной разработке теории временного порядка Рейхенбах боролся еще в 1928 году, когда писал: «Вообще в принципе невозможно использовать субъективные чувства для определения [временного] порядка событий внешнего мира. Мы должны, следовательно, установить другой критерий» («Philosophie der Raum-Zeit-Lehre», S. 161, 327—328). Однако в своей последней публикации («Направление времени», стр. 52—54) он привлекает *непосредственное наблюдение* приближенных совпадений как основание установления для них локального порядка временных отношений «между». Если этот критерий наблюдаемости подразумевает включение субъективного переживания времени человеком, тогда интересно было бы узнать, какие соображения привели Рейхенбаха к отказу от первоначальной оппозиции к подобному подходу. Остаётся также нясным, как он стал бы оправдывать свое обращение к помощи такого метода в том месте, где он требует обеспечить «причинное определение» порядка временного отношения «между» посредством «обратимых процессов» («Направление времени», стр. 52). Однако, если он ссылается не на временные переживания сознания, а на непосредственно наблюдаемые показания материальных часов, то в таком случае он просто отодвигает трудности, делая вид, что решил проблему, на самом деле отнюдь не решая ее. Для решения проблемы необходимо показать, каким образом причинные свойства обратимых часов позволяют дать определение временного отношения «между».

кости, — тогда мы можем использовать свойства цепей генетического тождества, подразумевающие причинную непрерывность, как для определения временного отношения «между», так и для определения одновременности.

По соображениям, которые в дальнейшем станут более ясными, будет дано такое причинное определение временного отношения «между», которое потребует ввести дальнейшие ограничения с тем, чтобы можно было допустить, что время является либо топологически открытым в смысле системы, характеризуемой o -отношением «между», подобно евклидовой прямой, либо топологически замкнутым в смысле системы, обладающей разделенностью на замкнутой кривой, подобно кругу. Прежде чем добиться, чтобы данное определение было достаточно общим, нам нужно сделать следующие предварительные замечания.

Рассмотрим как *данное* нам непрерывное физическое трехмерное пространство некоторой инерциальной системы отсчета I и сосредоточим внимание на множестве G всех точечных событий, принадлежащих к любой каузальной цепи генетического тождества, обладающем следующим свойством: никакие два различных члена-события G не происходят в одной и той же точке пространства I . Для краткости будем говорить о каузальной цепи генетического тождества G как о не пересекающей саму себя в пространстве I , поскольку никакие два ее члена не совпадают пространственно в I . Теперь рассмотрим два частных члена E и E' множества G . Для любого из двух таких событий E и E' существует класс других членов множества G , обладающий мощностью континуума, так что *пространственные* положения этих членов и событий E и E' образуют одномерный континуум.

Следовательно, о генетически тождественных событиях E и E' нужно будет говорить как о «непрерывно k -связанных» в I , если (и только если) существует множество событий такое, что а) E и E' являются членами Y , б) все члены Y генетически тождественны с E и E' и таким образом k -связаны с каждым из них, и в) в пространственном отношении Y является одномерным континуумом в I . Отметим, что третье из этих условий допускает, чтобы Y было в пространственном отношении либо замкнуто, либо открыто в I . Ибо мы увидим ниже, что пространственно замкнутое Y не содержит с необходимостью два различных члена-события, которые происходят в одной и той же точке.

Используя эту дефиницию непрерывной k -связанности E и E' , мы сейчас введем две дальнейшие поясняющие дефиниции, первой из которых я обязан моему коллеге Ноэлю Белнапу. Будем использовать греческую букву ϵ для обозначения отношения «является членом».

О некоторой паре генетически тождественных событий X , F в G говорят, что они *дизъюнктивно необходимы* для непрерывной k -связанности E и E' , если (и только если) для *каждого* множества Y , удовлетворяющего предшествующим трем условиям а), б) и в) либо $X \in Y$, но $X \neq E$ и $X \neq E'$, либо $F \in Y$, но $F \neq E$ и $F \neq E'$.

Мы будем говорить о квадруплетах, составленных такими дизъюнктивно необходимыми парами X , F и E , E' как о dn -квадруплетах ($EXE'F$) и в соответствии с этим писать dn ($EXE'F$). Более того, мы будем именовать множество α членов X и G n -цепью, связывающей E и E' , если (и только если) члены X множества α задаются следующим условием:

$$X \in \alpha \text{ iff } (\exists F) [dn (EXE'F) \cdot \sim dn (EFE'F)].$$

Теперь мы можем определить *временное отношение «между»* следующим образом: относительно любого события, принадлежащего к какой-нибудь n -цепи, соединяющей пары генетических тождественных событий E и E' , можно сказать, что оно расположено во *времени между* E и E' ¹.

¹ Могут возразить, что существует известная трудность при попытке применить это определение к нашему предыдущему парадигматическому примеру с катящимся шаром, поскольку возможно, что кто-то просто положил шар в точку P в соответствующее время, хотя он (шар) никогда не находился и никогда не будет находиться в точке P' , а другой шар положат в соответствующее место в более поздний момент. Или критик может сказать, что даже если первоначально шар и находился в одной из точек P или P' , ему всегда можно помешать достигнуть другой точки, оказав на него соответствующее воздействие во время движения. Цель таких возражений состоит в доказательстве того, что для исключения возможности подобных контрпримеров наше построение должно было бы допустить логический круг, привлекая к рассмотрению временные понятия, которые очевидным образом не предполагаются. Однако неуместность подобных возражений становится ясной, если принять во внимание, что вместо обнаружения логического круга в нашем причинном определении временного отношения «между» они только указывают на существование таких пар событий, которые не удовлетворяют условиям, необходимым для применимости нашего определения, поскольку они не связаны (или не могут быть связаны) причинным образом, чего требует генетическое тождество.

В специальном случае временного o -отношения «между» наша дефиниция исключала бы некоторые события X , которые *находятся* в o -отношении между E и E' , если наша дефиниция должна основываться на множестве G , которое в пространственном отношении не перекрещивается само с собой. *Коль скоро достигнуто определение* топологической одновременности, его можно обобщить таким образом, чтобы оно позволило утверждать, что события, которые не являются генетически тождественными с E и E' , но которые одновременны с любым событием, расположенным во времени между ними и генетически с ними тождественным, также будут расположены во времени между E и E' . В таком случае эти топологические определения могут быть проанализированы более подробно с помощью метрических определений одновременности, которыми пользуются в частных системах отсчета.

Нашу дефиницию временного отношения «между» можно также использовать для упорядочения всех тех событий, которые пространственно совпадают как с E , так и с E' в одной и той же точке пространства некоторой частной системы отсчета. В таком случае достаточным условием для события X находиться во времени между E и E' является то, что имеются некоторые *другие* системы отсчета, в которых E и E' пространственно разделены и в которых события X квалифицируются на основе нашей дефиниции как расположенные во времени между E и E' .

Весьма важное свойство нашего определения временного отношения «между» состоит в том, что оно оставляет открытым вопрос, какая из следующих альтернатив имеет преимущество.

1) dn -квадруплеты, составленные из E и E' а также из пар элементов n -цепей, соединяющих E и E' , обладают формальным свойством четырехчленного отношения разделения, чем обеспечивается временной порядок, выражаемый разделенностью на замкнутой кривой.

2) Принадлежность к n -цепям, связывающим E и E' , такова, что она обеспечивает временной порядок, выражаемый o -отношением «между».

Чтобы сделать ясной эту нейтральность определения, составим с целью сравнения следующую таблицу свойств, присущих различным типам порядка. Пусть ABC обозначает трехчленное отношение «между», $ABCD$ — четырехчлен-

ное отношение разделенности, \rightarrow — отношение логического следствия, тогда:

o-отношение «между»

- 1) $ABC \rightarrow CBA$ (симметрия крайних членов, или ненаправленность);
- 2) $ABC \rightarrow \sim BCA$ (запрещение замкнутости).

Разделенность на замкнутой кривой

Если все элементы A , B , C и D разные, тогда

- 1) $ABCD \rightarrow DCBA$ (ненаправленность);
- 2) $ABCD \rightarrow BCDA$ (замкнутость).

Соответственно частное свойство циклического отношения «между», которое иллюстрируется классом точек направленной замкнутой линии, выражается следующим образом:

Циклическое отношение «между»

- 1) $ABC \rightarrow \sim CBA$ (запрещение симметрии между крайними членами, или направленность);
- 2) $ABC \rightarrow BCA$ (замкнутость).

Однако мы не будем рассматривать тот вид замкнутого порядка, который выражается циклическим отношением «между», поскольку, как мы это в дальнейшем увидим, он не играет роли при рассмотрении временного отношения «между».

Нейтральность к обоим *o-отношениям* «между» и к разделенности на замкнутой кривой, то есть нейтральность, которой мы требуем от нашего определения временного отношения «между», мы поясним, обсудив возражение, высказанное нам д-ром Шимони.

Если определение допускает, что время представляет собой систему, подчиняющуюся *o-отношению* «между» и что последующее введение временного порядка, в котором элементы E , X , Y , E' , F и G генетической причинной цепи располагаются в данной последовательности, тогда не допускается существование событий, подобных событию F , которые находятся *вне* интервала, ограниченного событиями E и E' , и, следовательно, не расположены во времени между E и E' . Это определение не допускает также, чтобы *внутренние* события, подобные X и Y , могли оказать-

ся во времени не между E и E' . Далее наше определение принадлежности к n -цепям α предназначалось для того, чтобы предотвратить точно такое же затруднение, равно как и допустить порядок разделенности на замкнутой кривой, при котором каждое событие находится во времени между любыми другими двумя событиями, составляющими пару. Возникает вопрос, не потерпели ли мы в данном случае неудачу: если такие события, как F и G , находящиеся вне интервала $E E'$, столь же необходимы для осуществления соответствующих событий E и E' , как и события, подобные X и Y , то не следует ли отсюда, что каждое «внешнее» событие, подобное F , входит в dn -квадруплет $dn (EFE'F)$ и тем самым его можно квалифицировать, подобно «внутренним» событиям, как необходимое для установления k -связанности E и E' .

Если фактически последует такой вывод, наше определение будет, конечно, несовместимо с o -отношением «между», поскольку класс n -цепей α превратится в пустой. Ибо в таком случае не существовало бы никаких генетически тождественных событий, удовлетворяющих требованию не быть необходимыми для установления k -связанности между E и E' , как это требуется нашим определением α . Однако рассуждения, на которых основывается данное возражение, несостоятельны в том пункте, где делается вывод, что внешние события, подобные событиям F и G , составляют с E и E' dn -квадруплет, ибо, хотя все события; генетически тождественные с E и E' (будь они внешними или внутренними), необходимы для соответствующих событий E и E' , только внутренние события обладают еще дополнительным свойством быть необходимыми для установления k -связанности между E и E' ; они необходимы, чтобы последнее произошло. Отмечая различие между свойствами 1) быть необходимым для того, чтобы произошли соответствующие события E и E' , и 2) быть необходимым для того, чтобы была установлена k -связанность между событиями E и E' , осуществление которых в других отношениях гарантировано, мы видим, что как правдоподобие, так и неубедительность данного возражения в адрес предлагаемого нами определения обусловлены выводом второго свойства из первого.

То, что наше определение временного отношения «между» не позволяет провести различие между замкнутым и открытым временем, станет еще более очевидным после того,

как мы рассмотрим применение этого определения к случаям вселенных, каждая из которых обладает разным в топологическом отношении видом времени.

А. Замкнутое время

Пусть существует вселенная, состоящая из плоскости и одной частицы, постоянно (без трения) движущейся на ней по круговой траектории. Само собой разумеется, что в эту вселенную нельзя ввести тайком наблюдателя, способного увидеть движение этой частицы. Это движение может быть таким, что определяющее его временное отношение «между» обнаружит свой замкнутый, а не открытый характер, поскольку здесь не существует никакого физического различия между данным прохождением частицы через фиксированную точку *A* и так называемым возвращением ее в то же самое состояние в точке *A*. Вместо того чтобы периодически появляться в одном и том же месте *A* в различные моменты открытого времени, частица испытывала бы возвращение—в истинно пиквикском смысле этого термина — в то же самое событие в тот же самый момент замкнутого времени. Этот вывод покоится на тезисе Лейбница: если два состояния мира обладают абсолютно тождественными атрибутами, то в этом случае мы имеем дело не с различными состояниями в разные моменты времени, а только с двумя разными наименованиями одного и того же состояния в одно и то же время. И именно с точки зрения Лейбница, представляется недопустимой следующая интерпретация, дающая иную характеристику времени в нашей модели вселенной: имеется одна и та же, вечно повторяющаяся система событий (круговое движение), в которой время топологически открыто и бесконечно в обоих направлениях. Однако такая интерпретация незаконна, поскольку предполагается различие в тождестве событий, для чего ни атрибуты, ни отношения между этими событиями не дают оснований. Следовательно, эту интерпретацию нельзя рассматривать как законного соперника нашему предположению, согласно которому события в данной модели мира располагаются в порядке, топологически замкнутом как в пространственном, так и во временном отношениях.

Язык обычного времени буквально кишит предположениями о том, что время является открытым, и описание

замкнутого времени нашей модели мира на этом языке привело бы к неправильным высказываниям о том, что повторяется одна и та же последовательность состояний. Такое описание может привести в данной ситуации к псевдопротиворечиям или загадкам, поскольку оно наводит на мысль о следующей структуре :

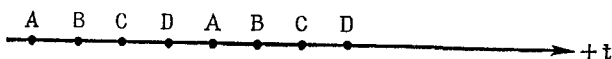


Рис. 3.

Здесь имеются различные системы событий $ABCD$, которые представляются тождественными только по одному или нескольким их параметрам. Но это не структура замкнутого времени. Замкнутое время совершенно неприемлемо для психологической интуиции по причинам, о которых будет сказано в дальнейшем. И поэтому представление о замкнутости времени с точки зрения интуиции гораздо более диковинно, чем теория исторической цикличности. В теории исторических циклов рассматривается периодическое возвращение одних и тех же состояний в разные времена. Для этой концепции циклического возвращения необходимо, чтобы время было открытым. Вероятно, отсутствием психологического воображения в отличие от теоретических соображений относительно замкнутого времени можно объяснить тот факт, что данная логическая возможность обычно упускается из виду в теологических дискуссиях о творении. Однако эта несостоятельность воображения оказывается несчастливой и в другом отношении: если бы время было космически замкнутым, то не было бы никакой проблемы начала или творения.

В адрес нашего утверждения о том, что данная модель вселенной обеспечивает реализацию топологически замкнутого вида времени, могут быть выдвинуты возражения трех типов. Во-первых, можно сказать, что на наше прежнее предостережение относительно необходимости истинно пиквикского толкования термина «возвращение» напрашивается следующее возражение: уже простое размышление о предложенной модели вселенной заставляет сделать вывод, что частица на самом деле возвращается в собственном смысле этого термина в ту же самую точку A в другой момент открытого времени. Можно также выдвинуть обви-

нение в том, что иная интерпретация означает игнорирование очевидных фактов нашего чувственного опыта. Во-вторых, круговое движение можно подразделить на конечное число n (равных) частей или субдвижений (эпизодов). Этим думают показать, что время нашей модели вселенной отнюдь не является топологически замкнутым, а обладает открытой топологией конечного отрезка прямой, ограниченного двумя различными точками, утверждая при этом, что первое и n -е субдвижения выражают два конечных события. В-третьих, говорят, что сущность времени как раз в том и состоит, что оно является открытым. Отметив, что предлагаемая нами характеристика рассматриваемой модели вселенной с замкнутым временем зависит от признания справедливости лейбницевского принципа тождества неразличимых, критики утверждают, что данная модель показывает не логическую возможность замкнутого времени, а только то, что неверен принцип Лейбница.

Что касается первого возражения, которое основывается на рассмотрении наших общих рассуждений относительно данной модели вселенной, то в этом случае оппонент молчаливо подменяет условия, постулированные для данной модели, и тем самым игнорирует многие свойства, на которых основывались наши утверждения относительно замкнутости ее времени. Так, оппонент не только вводит в эту модель подобный ему самому организм, обладающий сознанием, которому он приписывает разные воспоминания относительно двух прохождений частицы через точку A , но также тайком привносит и другие физические средства, необходимые для того, чтобы эти отличные друг от друга воспоминания были возможны, а именно источник света, например свечу, который позволяет ему все это увидеть, а также различить более раннее и более позднее прохождение частицы через точку A , на основании параметров этого источника света, например степени сгорания, которая должна указывать на более позднее время прохождения. Таким образом, данное возражение оказывается несостоятельным, поскольку оппонент имеет в виду вселенную, отличную от нашей гипотетической вселенной, а именно вселенную, которая не обладает замкнутым временем.

Второе возражение, опирающееся на доказательство существования n -го числа субдвижений, без труда опровергается указанием на то, что здесь обычные свойства порядковых числительных накладываются на события (или суб-

движения) при процедуре пересчета: разделение движения частицы по плоскости на n подынтервалов (событий), где n — количественное числительное, не дает никаких оснований приписывать им какие-либо объективные свойства, на основе которых можно было бы с помощью обозначения числами 1 и n соответственно превратить эти подынтервалы в подлинные *элементы времени*. Ибо из этого числа n подынтервалов событий (независимо от того, какие числовые наименования приписываются им при счете) никакие два не могут быть по порядку различены один от другого. Следовательно, если мы начнем пересчет, произвольно приписав номер 1 какому-то одному из них и приписывая остальным $n - 1$ номеров, то это не поможет нам установить, что временные порядковые свойства тех частных подынтервалов, которые случайным образом получили номер 1 и n соответственно, чем-нибудь отличаются от свойств подынтервалов, которым приписываются номера, расположенные между 1 и n .

В поддержку этого возражения можно выдвинуть еще более смелое предположение о существовании объективного различия между нашей моделью вселенной, состоящей из частицы, «вечно» движущейся по круговой траектории, и другой моделью, время которой на самом деле обладает открытой топологией конечного отрезка прямой, ограниченного двумя точками, причем плоскость данной вселенной ничем не отличается от плоскости первой, однако вместо частицы, движущейся на ней по замкнутой (круговой) траектории, имеется простой маятник, который колеблется в плоскости «вечно» и без трения так, как будто бы на него действуют силы, подобные земному притяжению. Пусть колебание характеризуется небольшой амплитудой $\theta = 2\alpha$, ограниченной двумя неподвижными точками, угловые расстояния которых от вертикали равны $+\alpha$ и $-\alpha$ соответственно. Тогда ограниченность (finitude) времени этой маятниковой вселенной гарантируется тем, что «вечные периодические возвращения» гири маятника в ту же самую точку на плоскости представляют собой с точки зрения принципа Лейбница неразличимые события. Ибо здесь было бы неверно предполагать, что гиря маятника пересекает каждую точку пространства P бесконечное число раз, так что любые два последовательных пересечения P отличаются друг от друга таким образом, что скорости маятника при этих пересечениях *противоположны по знаку*. Это пред-

положение было бы ошибочным в ситуации с данной частной маятниковой вселенной, поскольку временная координатизация событий, согласно которой гире маятника приписываются противоположные скорости, предполагала бы требование физического различия пересечений P друг от друга еще до введения временных координат. И поэтому физическое основание утверждения, что существуют различные прохождения через P , не может быть, во-первых, дано приписыванием скоростям противоположных знаков, но должно вытекать из других оснований. Однако здесь не существует никаких других оснований! Таким образом, тождество кажущихся различными событий в каждой точке пространства P не позволяет рассматривать данную модель как модель периодической бесконечной вселенной, время которой является открытым. Однако две фиксированные точки на угловых расстояниях от вертикали $+\alpha$ и $-\alpha$ соответственно уникальным образом ограничивают движение в пространстве, допуская только прохождение точек, расположенных между ними. И следовательно, события, выражающие присутствие гири маятника в $+\alpha$ и $-\alpha$, объективно отличаются как граничные от всех других событий, составляющих движение маятника, хотя ни одно из этих двух событий нельзя отличить от другого как предыдущее, а не последующее. Чтобы показать это, отметим прежде всего, что каждый вид событий, обусловленных присутствием гири маятника в частной точке пространства, случается в этой модели вселенной, как мы видели, только один раз. Поэтому различие между обратимыми и необратимыми видами событий, которое будет обсуждаться ниже, в главе восьмой, не имеет никакого отношения к вселенной, представленной одним-единственным маятником. Следовательно, понятие анизотропного времени, которое основывается на процессах необратимого типа, в данной ситуации также не представляет никакого интереса. В соответствии с этим время «маятниковой» вселенной обладает топологией не обладающего направлением конечного отрезка прямой, ограниченного двумя точками. Однако это не дает никаких оснований для утверждения, что наша первая модель с частицей, движущейся по круговой траектории, обладает временем, относящимся к этому последнему типу.

В аргументации третьего возражения, основывающегося на кантовском методе предположений, имеется очевидный

логический дефект, поскольку она исходит из априорного утверждения о том, что вселенная бесконечна в пространстве (топологически открыта), а не конечна (замкнута, но не ограничена). Для того, кто утверждает а priori справедливость бесконечной евклидовой топологии, можно было бы предложить следующий уместный аргумент относительно пространства: если бы оказалось, что геодезические линии пространства нашей вселенной могли пересекаться на достаточно большом, но конечном расстоянии, которое для них одинаково и оканчивается в одной и той же точке пространства, тогда следовало бы отрицать возможность установления на основе принципа Лейбница того, что это одна и та же точка. В таком случае сторонникам априорного утверждения, что пространство обладает евклидовой, а не сферической топологией, следовало бы, кроме того, доказать, что принцип Лейбница несправедлив. Хотя возникновение неевклидовых геометрий имело своим источником отказ эмпириков от кантианской концепции топологии физического пространства в одном из ее наиболее важных пунктов, остатки кантианства все еще присутствуют во многих аспектах топологии времени. И этот консерватизм топологического априоризма, по-видимому, подкрепляется отсутствием воображения в следующем смысле: отрицается возможность существования такой топологии времени в гипотетических моделях вселенной—или космического времени в нашей реальной вселенной,—которая была бы лишена некоторых топологических свойств локального в космическом отношении времени нашего повседневного опыта. Однако такое время было бы необходимым, если бы эйнштейновские уравнения поля допускали решения, из которых вытекало бы существование замкнутых геодезических, имеющих характер линий времени, как это утверждал Гёдель¹. Если бы результаты, полученные Гёделем,

¹ В своих последних статьях («An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation», «Reviews of Modern Physics», Vol. XXI [1949], p. 447; «A Remark About the Relationship of Relativity Theory and Idealistic Philosophy», в: P. A. Schilpp [ed.], Albert Einstein: Philosopher-Scientist, pp. 560--562) Гёдель утверждал, что существуют такие решения эйнштейновских уравнений поля, которые требуют замкнутых временноподобных мировых линий. Эйнштейн (см.: «Собрание научных трудов», т. 4, стр. 314) говорил, что «было бы интересно выяснить, не следует ли такие решения исключать из рассмотрения на основе физических соображений».

оказались верными, они, по-видимому, указывали бы на то, что замкнутыми временными геодезическими линиями могла бы обладать и детерминистическая вселенная, в которой живут ощущающие существа, подобные нам. Однако Чандрасекхар и Райт в 1961 году писали о том, что утверждение Гёделя не обосновано с математической точки зрения¹.

Существует довольно простой метод, с помощью которого можно рассмотреть, как человекоподобные существа могли бы обнаружить, что космическое время их вселенной является замкнутым, несмотря на последовательность (seriality) локального отрезка космического времени, доступного их повседневному опыту. Допустим, что все уравнения, которые описывают эволюцию состояний физических и биологических систем во времени, являются детерминистическими относительно свойств событий и что эти уравнения сформулированы с помощью временной переменной, порядок которой определяется рядом натуральных чисел. На этом основании можно предположить, что время является топологически открытым. Далее постулируем, что граничные условия этого детерминистского мира таковы, что все переменные состояний, относящихся к этому миру (включая и те, которые характеризуют мышление ученых, живущих в этом мире), обладают одинаковыми значениями, сначала в момент t , а много позднее в $t + T$. Получив подобный результат, эти ученые должны прийти к выводу, что два различных значения временной переменной, для которой получено это тождество состояний, обозначают не два объективно различных состояния, а только два различных числа, которым соответствует одно и то же состояние. Таким образом, они обнаружат, что их вселенная замкнута во временном отношении. Ученый, полагающий, что все-

Рейхенбах сам отмечал («The Philosophy of Space and Time», pp. 272—273), что в мире замкнутых временноподобных мировых линий его причинный критерий временного порядка становится внутренне противоречивым для точек, достаточно далеко отстоящих друг от друга («Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre», S. 22). И, как заметил Эйнштейн (там же), в таком мире на больших расстояниях необратимость также перестает сохраняться.

¹ S. Chandrasekhar and J. P. Wright, The Geodesics in Gödel's Universe, «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. XLVIII (1961), pp. 341—347, and esp. p. 347. См. также: S. Chandrasekhar, Geodesics in Gödel's Universe, в: T. Gold and D. L. Schumacher (eds.), The Nature of Time, Ithaca: Cornell University Press, 1967, pp. 67—74.

ленная бесконечна в пространстве, точно так же может обнаружить затем, что на достаточно больших расстояниях она оказывается замкнутой. Однако существует важное различие между способностью к интуитивному пониманию замкнутости пространства и способностью к интуитивному пониманию замкнутости времени. Наше интуитивное чувство времени в отличие от интеллектуального, или теоретического, понимания ограничивается отношением *последовательности* «раньше» или «позже», которое неприменимо к любой паре неодновременных событий в космически замкнутом времени. Напротив, нам интуитивно привычны замкнутые линии, а также замкнутые двухмерные поверхности, погруженные в трехмерное физическое пространство.

Как уже подчеркивалось в данном случае, решающее значение, если стремиться избежать псевдозагадок и противоречий, имеет отсутствие каких-либо молчаливых ссылок на внешнее последовательное супервремя при истолковании термина «возвращение» и всех понятий, заимствованных из временного языка и используемых при описании мира, время которого (в достаточно больших масштабах) является замкнутым. Осознание последней возможности позволяет нам понять, что из двух видов замкнутого порядка, о которых мы уже упоминали, именно разделенность на замкнутую кривой, а не цикличность должна считаться ответственной за порядок замкнутого времени. Ибо с точки зрения физических состояний анизотропия направленности циклического отношения «между» зависит от привлечения последовательного, а тем самым открытого времени, и его замкнутость обусловлена только периодичностью в пространстве. Таким образом, замкнутое физическое время должно характеризоваться разделенностью на замкнутой кривой и по смыслу не может быть циклическим. И если нам необходимо дать краткую характеристику физически правдоподобного замкнутого времени, то она должна гласить примерно следующее: каждое состояние мира находится во времени между двумя другими состояниями вселенной в смысле отношения «между», которое определено в нашей дефиниции для случая разделенности на замкнутой кривой. Могут спросить, почему мы предполагаем, что структура замкнутого времени должна быть такой, как структура окружности без узлов, а не такой, которая представлена самоперекрещивающейся замкнутой линией наподобие цифры 8. Дело в том, что система наших моделей замкнутого времени

является детерминистической, так что направление фазы кривой, представляющей конечную (замкнутую) механическую или какую-либо другую детерминистическую систему, однозначно определяется любой из его фазовых точек.

Наша характеристика замкнутого времени применима не только к совершенно неинтересной модели мира, где одна-единственная частица движется в плоскости по круговой траектории, но и к космосу, общие состояния которого являются не элементарными событиями, а большими классами, состоящими из множества совпадающих генетически тождественных объектов. Поэтому существенным является здесь установленное нами значение топологической одновременности, которое предполагается в понятии состояния мира. Отложив комментарии до тех пор, когда мы обсудим открытое время, и в частности те виды открытого времени, которые постулируются специальной теорией относительности, дадим пока в целях удобства следующее определение: два события являются *топологически одновременными*, если и только если физически невозможно, чтобы существовали другие события, которые во времени расположены между ними в смысле сформулированной нами выше дефиниции. Здесь нужно ясно понять, что достаточное условие, сформулированное для *топологической* одновременности, не является также достаточным для метрической одновременности в любой инерциальной системе теории относительности. По отношению к данному определению в контексте последней теории необходимо заметить, что световой луч, непосредственно связывающий пару макроскопических событий, нужно рассматривать как сущность, обладающую генетическим тождеством, хотя это предположение и не имеет силы с точки зрения статистики Бозе—Эйнштейна.

Б. Открытое время

Поскольку наше определение топологической одновременности является совершенно нейтральным как в отношении замкнутости, так и в отношении незамкнутости времени, представляется очевидным, что мы можем также использовать это определение при описании вселенной, время которой характеризуется o -отношением «между», например время Ньютона или специальной теории относительности. В последнем (эйнштейновском) мире, где ограничивающую роль играют электромагнитные причинные

цепи, топологическое определение одновременности оставляет достаточно свободы для правил синхронизации и тем самым для метрического определения одновременности. В таком случае, следовательно, наше чисто порядковое определение должно быть специфическим в каждой галилеевой системе (более подробно это будет рассмотрено в двенадцатой главе). В любой данной системе отсчета требованию быть метрически одновременными удовлетворяют только те пары причинно несвязуемых событий, которые соответствуют критерию одновременности данной частной системы отсчета.

Чтобы оценить роль граничных условий при установлении незамянутости времени, напомним прежде всего о нашей маятниковой модели мира, обладающей конечным открытым временем, и затем перейдем к построению модели с бесконечным открытым временем, обладающей следующими свойствами: во-первых, она будет довольно простой, а во-вторых, будет иметь гораздо более близкое отношение к тому действительному миру, в котором мы живем.

Допустим, что существует вселенная, состоящая из плоскости, материальных часов и по крайней мере двух простых маятников X и Y , характеризующихся несоизмеримыми периодами колебаний, так что после того, как их положения один раз совпали, они уже больше никогда совпадать не будут. Тогда их движение будет определять бесконечное открытое время в силу лейбницевской нетождественности различных: в любом случае прохождение E_p гири маятника X через фиксированную точку P будет физически отличаться от другого прохождения E_q в силу того, что E_p будет одновременно с другой фазой маятника Y , которая отличается от фазы, одновременной с E_q , приводя таким образом к установлению временного порядка, характеризующегося o -отношением «между». В свете общего истолкования физического времени, которое предлагается в данной книге, это утверждение подразумевает известные философские обязательства как по отношению к лейбницевскому критерию индивидуальности событий, принадлежащих к причинным цепям, составленным из генетически тождественных классических материальных частиц или макрообъектов, так и к элементарному отношению субстанционального генетического тождества среди некоторых событий. Мы не видим какой-либо несостоятельности или

логической противоречивости в этой особенности данного теоретического построения. В частности, нам кажется, что только из смещения ситуации подтверждения с ситуацией открытия (по терминологии Рейхенбаха) или фактуального (factual) обоснования с доказательным (на языке Фейгла) можно прийти к обвинению, что использование понятия (субстанциального) генетического тождества как далее неразложимого (primitive) при воссоздании временного порядка физических событий представляет собой логический круг на том основании, что значение временного порядка уже предполагается в процессе опознавания нами объектов как тех же самых при нахождении их в различных точках пространства в разные моменты времени.

Теперь рассмотрим конечную вселенную или достаточно большую, но конечную квазизамкнутую часть нашей реальной вселенной, если последняя бесконечна в пространстве, для которой в грубом приближении справедлива газовая статистика Максвелла — Больцмана и которая не более чем квазипериодична, но не строго периодична в отношении своих микросостояний. Понятие состояния газа, складывающегося из индивидуальных микросостояний (расположений или комплексов), в статистике Максвелла — Больцмана в решающей степени зависит от предположения, что частицам (молекулам) можно приписать субстанциальное генетическое тождество, а также от предположения, что они удовлетворяют именно лейбницеvской концепции индивидуальности событий, на которую мы ссылались в своих примерах простых моделей вселенной. Любое индивидуальное мгновение времени этой вселенной определяется, таким образом, одним из его частных микросостояний. И поэтому, согласно данному критерию, вполне имеет смысл (об этом после) говорить об осуществлении того же самого макросостояния («распределения») и, следовательно, об одинаковой энтропии в различные моменты времени. Справедливость данного утверждения гарантируется тем, что лежащие в основе этого макросостояния соответствующие микросостояния являются различными. Однако вопрос о том, будет ли вселенная, представленная газом, подчиняющимся статистике Максвелла — Больцмана, характеризоваться такой совокупностью макросостояний, которая определяет открытое время, а не такой, время которой в больших масштабах является замкнутым, зависит не только от причинного характера движения

составляющих его молекул, но и от граничных условий, которым это движение подчиняется. И ответ на вопрос, будет ли определенное таким образом время не только открытым, но и бесконечным, зависит от микросостояний, обладающих степенью специфичности, представленной точками в фазовом пространстве, а не только ячейками, которые используются при пересчете на вероятности различных макросостояний, оцениваемые объемом ячейки в фазовом пространстве. Так, конечная замкнутая механическая система, энергия которой постоянна, является по крайней мере квазипериодической и ее можно рассматривать как аperiodическую только по отношению к точечным характеристикам ее микросостояний.

Следовательно, тот симметричный тип причинности, который утверждается самими уравнениями механики, в отличие от преобладающих номологически случайных граничных условий, к которым эти уравнения относятся, *допускает, но не гарантирует*, что временное отношение «*между*» (и одновременность), определяемое причинными цепями генетического тождества, подчиняется скорее открытому, а не замкнутому порядку¹.

Этот анализ физического базиса открытого времени требует дополнительных комментариев относительно смысла обратимости механического движения. Мы видели, что в нашей модели вселенной общее состояние маятников X и Y (периоды которых несоизмеримы) определяет бесконечное открытое время, поскольку здесь не обнаруживается никакого «обращения движения». Следовательно, когда мы приписываем обратимость движению любого из маятников, то

¹ Мельберг («Essai sur la théorie causale du temps», Vol. I, p. 240) правильно указывает на то, что принцип причинной непрерывности не зависит от обратимости или необратимости физических процессов. Однако затем, утверждая полную обратимость физического мира и, следовательно, изотропию физического времени (*ibid.*, p. 184), он считает доказанным, что принцип причинной непрерывности, как таковой, всегда определяет открытое отношение «*между*» (*ibid.*, pp. 230—240; Vol. II, pp. 156—157, 168—169, 179). Однако, как мы только что видели, в полностью обратимом мире может случиться так, что отношение «*между*», определенное с помощью принципа причинной непрерывности цепей генетического тождества, будет таково, что замкнутое многообразие ассоциируется с разделенностью на замкнутую кривую. Таким образом, вместо того чтобы быть открытым и изотропным, время будет и изотропно и замкнуто.

это означает, что любая элементарная составляющая целостной системы может (при соответствующих граничных условиях самих по себе) привести к возникновению событий одного и того же *типа* в различные моменты времени. При этом мы не считаем, что рассматриваемый нами маятник «возвращается» в то же самое событие, поскольку общее состояние физической системы в целом гарантирует с помощью лейбницеvской *не*тождественности различных, что события, относящиеся к каждому маятнику, формируют бесконечный открытый порядок времени. Таким образом, обратимость законов механики имеет ясный смысл в контексте бесконечного открытого времени. И обратимость элементарных процессов в нашей вселенной Максвелла — Больцмана, которая утверждается этими законами, по существу, совместима с бесконечной незамкнутостью времени, определяемой *всей совокупностью* микросостояний этой вселенной. Однако мы вскоре увидим, что если бесконечная незамкнутость времени гарантируется *одной только необратимостью всей совокупности* микросостояний модели вселенной, то такая гарантия гораздо менее надежна по сравнению с другим видом *необратимости*, который обеспечивает достаточное условие анизотропии времени.

Мы уже подчеркивали, что наше определение временного отношения «между» на основе причинной непрерывности является нейтральным по отношению к противоположным возможностям открытого и замкнутого временного отношения «между». Вторая особенность нашего определения временного отношения «между», которую необходимо отметить, состоит в том, что оно опирается на понятие физической возможности и тем самым в логическом отношении более надежно. Если мы предполагаем, что *B* должно расположиться во времени между *A* и *C*, то это означает, что оно расположено между ними как в тех случаях, где *A* и *C* связаны генетическим тождеством, так и в тех случаях, где они только могли бы быть связаны, но на самом деле не связаны. Это относится и к нашему определению (топологической) одновременности несовпадающих событий.

В теориях порождения пар частиц, предложенных Уилером, Фейнманом и Штюкельбергом¹, исследуемые явления можно описывать с помощью обычного макроязыка как

¹ См.: Г. Р е й х е н б а х, Направление времени, стр. 348—357.

частицы, которые могут двигаться в макровремени как вперед, так и назад. Таким образом, в этом описании частицы можно пренебречь необходимым условием одновременности, которое дано в нашем определении, а именно частица находится в разных местах в те мгновения, которые в макроскопическом отношении являются одновременными. Однако это отнюдь не опровергает нашего определения одновременности, ибо топология времени, раскрытию физического базиса которой и посвящен наш анализ, определяется (статистическими) *макросвойствами*, и для них подобные трудности не возникают. Макроскопический характер нашего понятия одновременности становится очевидным из того, что оно зависит от понятия субстанциального или квазисубстанциального генетического тождества. Точнее говоря, это понятие и связанное с ним классическое понятие траектории частицы вообще больше неприменимы к микросущностям, так что следствия неприменимости этих понятий в теории Уилера — Фейнмана и статистике Бозе — Эйнштейна не должны вызывать никакого удивления. Более того, макроскопический характер анизотропии времени станет очевидным из анализа, который будет проделан в восьмой главе.

Мы видим, что, поскольку наши определения временного отношения «между» и одновременности используют понятие причинной связи, соединяющей воедино два события, и не делают при этом никаких ссылок на то, что *одно* из этих событий является *причиной* другого, именно потому, что оно произошло *раньше*, постольку эти определения не предполагают и не включают анизотропию времени. Если физическое время должно быть *анизотропным*, то мы обязаны искать другие свойства физического мира, отличные от одной только каузальности процессов генетического тождества, которые обеспечивали бы эту анизотропию. В частности, поскольку было показано¹, что если с помощью микростатистической аналогии энтропии нельзя установить анизотропию времени, то в этом случае потерпят неудачу и все иные попытки использования микростатистических

¹ См.: A. S. E d d i n g t o n, The Nature of the Physical World, New York: The Macmillan Co., 1928, pp. 79—80. Более подробное рассмотрение «принципа детального балансирования», который имеет отношение к данному вопросу, см. в: R. C. T o l m a n, The Principles of Statistical Mechanics, Oxford: Oxford University Press, 1938, pp. 165, 525.

свойств замкнутых систем, характеризующихся определенной величиной энтропии, и мы должны еще раз пересмотреть понятие энтропии, чтобы проверить, в каком смысле можно определить с ее помощью те свойства времени, которые оказалось невозможным определить, опираясь на причинность.

Однако, прежде чем приступить к этому, мы хотели бы с точки зрения современной математики прокомментировать значение вклада предложенной выше версии причинной теории времени в решение апорий движения, сформулированных Зеноном.

Наши определения временного отношения «между» без каких-либо ссылок на анизотропию или просто на незамкнутость времени устанавливают временной порядок, характеризующийся определенной плотностью, ибо при этом подразумевается, что между двумя любыми событиями всегда содержится какое-то иное событие. Далее, как мы указывали в 1968 году¹, именно приписывание современной математической теорией движения свойства плотности временному порядку побудило таких философов, как Уильям Джемс и Уайтхед, выдвинуть, следуя Зенону, обвинение в адрес этой теории движения в том, что она якобы не имеет физического смысла и вообще несостоятельна. Основывая свои доводы на представлении о цепях непосредственных актов сознания, которое подразумевает становление, эти философы утверждают, что временной порядок скорее является дискретным, нежели непрерывным, что события природы случаются шаг за шагом или, как говорит Пауль Вейс, «пульсационно»². Мы видим, что причинная теория времени в том виде, как она здесь изложена, опровергает подобные возражения относительно наличия плотности во временном порядке физического мира. И этот результат является существенным для опровержения апорий Зенона относительно движения³.

¹ A. G r ü n b a u m, *Modern Science and Zeno's Paradoxes*, op. cit., Chap. II, § 2 B.

² См.: P a u l W e i s s, *Reality*, New York: Peter Smith, 1949, p. 228.

³ За подробностями отсылаем читателя к нашей книге «*Modern Science and Zeno's Paradoxes*», главы I и II.

АНИЗОТРОПИЯ ВРЕМЕНИ

А. Существуют ли термодинамические основания анизотропии времени?

Точно так же, как мы можем ввести координаты одного из измерений пространства с помощью вещественных чисел, *не связывая* эту координацию с анизотропией этого измерения, мы можем ввести координаты и в топологически открытый временной континуум, не решая заранее, существуют или нет какие-либо необратимые процессы, превращающие этот континуум в анизотропный. Поскольку состояния мира (определенные с помощью какого-либо критерия одновременности) упорядочиваются временным отношением «между», обладающим теми же формальными свойствами, что и пространственное отношение «между» на евклидовой прямой, будут существовать два противоположных друг другу смысла направления времени. И тогда мы можем приписать координату, связанную с возрастанием вещественных чисел, любому из этих направлений, а убывающий ряд чисел — другому просто путем конвенции, *не предполагая*, что эти два направления *различаются*, кроме того, и по своим *структурным* свойствам и что некоторые типы последовательностей состояний, встречающиеся в одном из них, никогда не встретятся в другом.

Если последняя ситуация на самом деле имеет место в силу существования некоторых видов необратимых процессов, то в таком случае временной континуум анизотропен. Точно так же, если бы существовало материальное воплощение обратимости всех процессов во времени, время было бы изотропным.

Мы должны будем определить, какие специфические свойства физического мира, если таковые существуют,

определяют анизотропию времени в природе в смысле структурного различия противоположных направлений «раньше» и «позже». Тогда в десятой главе мы получим возможность рассмотреть, придают ли какие-либо характерные черты вселенной (такие, например, как гипотетический индетерминизм) физический смысл следующим свойствам времени: прохождение, возникновение, становление, ход или течение, которые понимаются как непрерывное скольжение «теперь» по оси времени вдоль структурно выделенного направления «позже чем».

Ясно, что анизотропия времени, вытекающая из существования необратимых процессов, выражается только в структурных различиях между двумя противоположными смыслами направления времени, но не дает никаких оснований для выбора *одного* из них как *данного направления* времени. Следовательно, утверждение, что необратимые процессы делают время анизотропным, *вовсе не эквивалентно* таким утверждениям, как время течет в «одном направлении» («one way»). И метафора относительно стрелы времени, с помощью которой Эддингтон намеревался выразить анизотропию времени, может ввести в заблуждение. Если обращать внимание только на наконечник стрелы и не обращать внимания на ее хвостовую часть, то можно прийти к мысли, что существует «течение» в *одном* из двух анизотропийно соотносительных смыслов.

Существенно будет начать анализ понятия необратимых во времени процессов и их отношения к анизотропии времени с рассмотрения следующего определяющего положения: в какой степени, если вообще имеет смысл говорить об этом, некоторые физические процессы, происходящие в нашей вселенной, обуславливают анизотропию времени.

В каком смысле такие факты, как то, что мертвецы не встают из могил, а горящая сигарета не восстанавливается из дыма, превращают смерть или горение в необратимые процессы? Существует как нестрогий, так и строгий смысл, в котором процессы могут интерпретироваться как необратимые. Нестрогий смысл состоит в том, что обращение процессов во времени фактически никогда не происходит (или вряд ли когда-либо может произойти) по следующим соображениям: некоторые частные де-факто условия (начальные или граничные условия), существующие во вселенной независимо от какого-либо закона (или законов), совместно с соответствующим законом (или законами) дела-

ют обращение во времени де-факто несуществующим, хотя никакой закон или комбинация законов сами по себе не запрещают такого обращения. Строгий смысл необратимости состоит в том, что обращение во времени невозможно потому, что оно исключается каким-то законом или комбинацией законов. В дальнейшем, чтобы провести различие между этими двумя смыслами необратимости, мы будем пользоваться терминологией Мельберга¹ и называть строгий вид необратимости, опирающийся на законы, номологическим, а нестрогий вид необратимости будем называть необратимостью де-факто или номологически случайной (nomologically contingent). При отсутствии оговорок приписывание необратимости тому или иному процессу означает для нас не более чем неосуществление или возможное неосуществление его обращения во времени и оставляет открытым вопрос, является ли необратимость по своему происхождению необратимостью де-факто или номологической. Это нейтральное употребление термина «необратимый» по отношению к номологическому и де-факто смыслу дает некоторые преимущества при решении вопроса об анизотропии времени. Ибо для существования анизотропии не имеет решающего значения, является ли отсутствие временного обращения некоторых процессов номологическим или же оно отсутствует де-факто. Вместо этого вопрос ставится так: возможно или невозможно обращение во времени этих процессов всегда (или почти всегда) независимо от того, каковы причины этого? Так, процессы пережевывания пищи или смешивания сливок с кофе являются необратимыми в этом *нейтральном* смысле. Следовательно, если в немом фильме, где показана группа обедающих, целые куски мяса восстанавливаются из пережеванных кусочков, а перемешанные кофе и сливки вновь разделяются на сливки и кофе, то можно сказать, что этот фильм прокручивается в обратном направлении.

Различие между нестрогой и строгой необратимостью имеет прямое отношение к тем физическим теориям, которые допускают резкое различие между законами и граничными условиями в силу повторяемости определенных видов событий в различных точках пространства в разные момен-

¹ H. M^ehlberg, Physical Laws and Time's Arrow, в: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), Current Issues in the Philosophy of Science, pp. 105—138.

ты времени. Однако в высшей степени сомнительно, чтобы это различие могло проводиться в *космологии* всегда и везде. Ибо какие имеются основания для самонадеянных предположений о том, что такие свойства вселенной, как пространственная вездесущность и временная непрерывность, являются граничными условиями, а не законами?

Поясним на графике смысл предположения о существовании таких типов последовательностей состояний $ABCD$ и о несуществовании противоположных последовательностей $DCBA$, которые имеют место с возрастанием времени. Допустим, например, что $ABCD$ на диаграмме выражают следующие друг за другом состояния дома, который с возрастанием времени или в направлении «позже» сгорает дотла. Тогда во вселенной с возрастанием времени не будет таких типов последовательности, как $DCBA$, поскольку последняя представляла бы собой восстановление дома из пепла. Таким образом, противоположный вид последовательности $DCBA$ существовал бы только в направлении уменьшения времени или в направлении «раньше», тогда как первый вид последовательности $ABCD$ в последнем направлении невозможен. В соответствии с этим сравнение

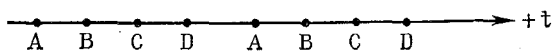


Рис. 4.

структур противоположных направлений времени показывает, что по крайней мере для отрезка космического времени, составляющего настоящую эпоху в нашей пространственной области мира, виды последовательностей состояний, обнаруживающиеся в одном направлении времени, отличаются от тех, которые мы находим в другом. Следовательно, говорим мы, по крайней мере локально, время анизотропно. Следует отметить, что анизотропия физического времени состоит только в структурных различиях между противоположными направлениями физического времени и не дает никакой основы для выделения одного из двух противоположных направлений как «данного».

Зависимость такой анизотропии, которая свойственна времени, от необратимого характера процессов, происходящих во вселенной, может быть продемонстрирована еще более ясно указанием на то, какое было бы время, если бы

не было никаких необратимых процессов, а были только процессы обратимые, причем их обратимость была бы не только номологической, но и де-факто. То есть обращение времени не только допускалось бы соответствующими законами, но и реально существовало бы благодаря наличию требуемых начальных (граничных) условий. Чтобы предупредить неверное истолкование такой гипотетической возможности, необходимо подчеркнуть, что в этом случае было бы невозможным и наше собственное бытие как человеческих существ, обладающих памятью. В дальнейшем мы поясним это утверждение. Следовательно, было бы, по существу, неправильно пытаться вообразить постулированную возможность, опираясь на наш наполненный памятью опыт, и затем впасть в уныние от неудачи подобной попытки. Это все равно что пытаться вообразить цвет излучения в инфракрасной и ультрафиолетовой частях спектра.

Для доказательства того, что в случае де-факто обратимости всех видов естественных процессов время было бы действительно изотропным, мы рассмотрим пример такого обратимого физического процесса, а именно качение шара (без трения) вдоль траектории AD , скажем от A к D , в соответствии с законами Ньютона¹. Это движение обратимо как в номологическом смысле, так и де-факто, потому что 1) законы Ньютона также допускают и другое движение, от D к A , которое представляет собой обратное во времени движению от A к D , и 2) существуют действительные примеры обращения такого движения, поскольку можно полу-

¹ В данной ситуации, когда предполагается существование только обратимых процессов, отношение «раньше чем», имплицитно содержащееся в утверждении, что шар движется от A к D (или в противоположном направлении от D к A), должно лишиться своей привычной опоры на анизотропию времени. Ибо в мире, состоящем исключительно из обратимых процессов, который мы сейчас рассматриваем, утверждение, что данное движение шара происходило от A к D , а не от D к A , выражает не объективное физическое отношение между двумя крайними событиями движения, а только соглашение о том, что мы приписываем меньшую величину времени событию нахождения шара в A , а не в D . И отсутствие здесь объективного физического основания для утверждения, что движение происходило от одной из двух точек к другой, подтверждает факт, отмеченный нами в седьмой главе, что если все процессы природы обратимы де-факто, тогда не существует никаких физических оснований для выделения одного из двух состояний движения шара как «причины» другого.

чить начальные условия, необходимые для осуществления этого обратного движения.

Изобразим на временной оси специальный случай, когда шар катится от A к D и, отталкиваясь, катится обратно от D к A . Нулевой момент времени выберем для обозначения события, когда шар находился в точке D . Буквы A , B , C и D на временной оси нашей диаграммы будут обозначать соответствующие события нахождения шара в точке пространства A и т. д., выражая тем самым последовательность состояний (событий) $ABCD$ движения «туда», а затем состояний $DCBA$ движения «обратно».

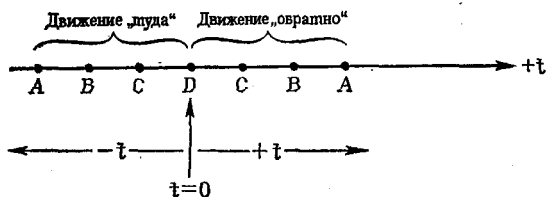


Рис. 5.

С математической точки зрения номологическая обратимость процессов, допускаемых законами Ньютона, выражается в том, что вид ньютоновских уравнений движения остается неизменным, или инвариантным, при замене в них $+t$ на $-t$. Поэтому мы говорим, что законы Ньютона для движения, в котором трение отсутствует, «симметричны по отношению к времени». И следовательно, наша диаграмма показывает, что любое состояние шара, допускаемое законами Ньютона в направлении времени $+t$, остается равноправным с любым состоянием, соответствующим $-t$, согласно этим же законам. Иначе говоря, в случае обратимых процессов последовательности (допускаемых) состояний вдоль противоположных направлений временной оси представляют собой, так сказать, зеркальные отражения друг друга. Поэтому, если бы все процессы природы были обратимы де-факто, время было бы изотропно.

Таким образом, представляется еще более очевидным, что структура времени не является чем-то не зависящим от тех или иных видов процессов, происходящих во вселенной. Напротив, природа времени зависит именно от характера этих процессов.

В последнем подстрочном примечании мы обращали внимание на то, что в мире, где существуют только обратимые процессы, логический статус отношения «раньше чем» должен быть расширен, учитывая неудачу, постигшую Рейхенбаха, когда он пытался провести логическое различие между 1) этим отношением и соответствующими отношениями, которые существуют в мире, содержащем обратимые процессы, и 2) двумя соответствующими причинными отношениями.

Прежде всего необходимо отметить, что если трехчленное отношение, обладающее всеми формальными свойствами o -отношения «между», без труда можно определить с помощью частного двучленного отношения последовательности, то обратный вывод невозможен, поскольку в данной системе последовательного порядка мы можем отличить одно «направление» от противоположного, тогда как система o -отношения «между» сама по себе не позволяет провести такую дифференцировку. Этот факт можно проиллюстрировать на примере с евклидовой прямой. Точки прямой составляют систему o -отношения «между». Этот порядок внутренне присущ прямой линии в том смысле, что ее точное определение не включает, по существу, никаких ссылок на какого-либо внешнего наблюдателя и его точку зрения. Последовательный порядок точек в конкретном отношении «налево от» является внешним в смысле необходимости ссылки на внешнего наблюдателя, по крайней мере для того, чтобы установить асимметричное двучленное отношение «налево от» между двумя произвольно выбранными точками отсчета U и V . Тогда, коль скоро мы ввели асимметричное двучленное отношение между двумя такими точками, мы можем использовать систему o -отношения «между», внутренне присущую линии, для определения порядка последовательности повсюду на этой линии¹. Если говорить о том, что данный порядок последовательности точек на линии в отношении «налево от» является конвенциональным, то это есть выражение иными словами того, что этот порядок является внешним в указанном выше смысле. Для частной внешней точки зрения, конечно, не

¹ Детальное рассмотрение формальной стороны этого вопроса можно найти в книге: C. J. Lewis and C. H. Langford, *Symbolic Logic*, New York: The Century Co., 1932, pp. 381—387; см. также: E. V. Huntington, *Inter-Relations Among the Four Principal Types of Order*, «Transactions of the American Mathematical Society», Vol. XXXVIII (1935), Sec. 3, 1, p. 7.

является произвольным, находится ли данная точка x налево от другой точки y или наоборот. В отличие от «внешнего» характера последовательного порядка точек на линии, присущего отношению «налево от», последовательный порядок вещественных чисел, характеризующий отношение «меньше чем», является в указанном выше смысле внутренним, поскольку любые два вещественных числа могут быть расположены в порядке их величин без каких-либо ссылок на сущности, находящиеся вне области вещественных чисел.

Весьма важно указать на то (как это уже делали и Рейхенбах и автор данной книги в своих прежних публикациях¹), что расположение в последовательном порядке устанавливает различие между направлениями независимо от того, производится ли оно на основании внутренних или внешних критериев. Смешивая внешний характер отношений последовательности с ненаправленностью, Рейхенбах говорит, что отношение «налево от» точек на линии, хотя и представляет собой последовательность, все же не является «однаправленным», утверждая тем самым, что два противоположных направления невозможно различить друг от друга. Отношение же «меньше чем» в области вещественных чисел он рассматривает и как последовательное и как однаправленное². Однако он вынужден был сделать такой вывод только потому, что упустил из виду следующее обстоятельство: будучи асимметричным, отношение последовательности уже автоматически обладает направлением даже в том случае, если последовательность устанавливается на основе внешних критериев. И этот недосмотр привел его к различению отношений последовательности, не обладающих направлением, от отношений последовательности, обладающих направлением. Последняя ошибка в свою очередь вытекала из неправильного предположения о возможности провести различие между простой последовательностью, которую он называл «порядком», и «направлением» времени. Такое различие он пытался обосновать при помо-

¹ H. Reichenbach, *The Philosophical Significance of the Theory of Relativity*, в: P. A. Schilpp (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, pp. 304—305, и «Направление времени», стр. 44; A. Grünbaum, *Time and Entropy*, «American Scientist», Vol. XLIII (1955), p. 551.

² Обстоятельный анализ оценки Рейхенбахом общих логических свойств «однаправленного» отношения как отличного от «просто» отношения последовательности см. в: «Current Issues in the Philosophy of Science», op. cit., pp. 109—111.

щи указания на то, что в противоположность полной временной симметрии фундаментальных законов ньютоновой механики и специальной теории относительности время в этих теориях предполагает последовательность. Однако разделение, предложенное Рейхенбахом, следует заменить разделением между внутренне изотропным и внутренне анизотропным видами времени, к объяснению чего мы сейчас и перейдем.

Обратимые де-факто процессы внутренне определяют временной порядок только в смысле *o*-отношения «между» при соответствующих граничных условиях, однако симметричное причинное отношение, связанное с этими процессами, не дает никакого физического основания для внутреннего последовательного порядка времени. Но, как это было возможно в случае евклидовой прямой, где в присущее ей *o*-отношение «между» можно было ввести последовательный порядок, опираясь на внешнее асимметричное двучленное отношение двух выбранных точек отсчета U и V , можно произвести выбор и между двумя состояниями отсчета во времени, которому внутренне присуще только *o*-отношение «между», и сделать это время с внешней точки зрения последовательным, обозначив одно из этих состояний как более позднее и приписав ему соответствующее вещественное число в качестве обозначения момента времени. В этом смысле мир, где не существует необратимых процессов, может тем не менее быть описан в последовательном времени, и это описание будет вполне законно и содержательно.

Мы видим, что если даже вселенная не содержит никаких процессов, необратимых в номологическом смысле или в смысле де-факто, и если тем не менее для ее описания необходимо последовательное время, в таком случае эта последовательность должна иметь *внешнюю* компоненту. Ибо при наличии соответствующих граничных условий эта гипотетическая обратимая вселенная будет внутренне определяться только временным порядком *o*-отношения «между». И этот порядок является вдвойне изотропным в следующем смысле: во-первых, все элементарные процессы обратимы де-факто и, во-вторых, физические системы не обладают никакими свойствами, подобными энтропии, значение которых внутренне определялось бы двучленным отношением между состояниями этих систем, а классы этих состояний определяли бы последовательный порядок в рамках этого отношения.

Однако неравновесному миру, для которого имеет силу второй закон классической термодинамики в его нестатистической форме, последнее свойство присуще на самом деле, и этим свойством является энтропия. И следовательно, такой мир является по отношению ко времени анизотропным: его время обнаруживает своего рода *различие между направлениями*, которое обусловлено внутренне ему присущим направленным отношением последовательности «позже чем». Если мы говорим, что процессы в таком мире «необратимы», то, очевидно, наше высказывание логически отличается от утверждения о «невозвращении» какого-либо из всеобщих состояний вселенной, время которой в таком случае открыто, а возможно, также и бесконечно (в одном или обоих направлениях). Ибо время *последнего* вида может быть *внутренне изотропным* и, конечно, будет изотропным, если вселенная, обладающая им, будет содержать только процессы, обратимые де-факто. Напротив, в прежней вселенной, относящейся к типу необратимых, время которой анизотропно, имеют место два следующих свойства: во-первых, классический закон энтропии предотвращает осуществление тех же самых (неравновесных) макросостояний, определяя *открытый* порядок времени в силу наличия граничных условий, и, во-вторых, этот закон приводит к специфическим утверждениям относительно способа, с помощью которого можно по какому-то единому признаку проводить различие между макросостояниями, существующими в разные моменты времени.

Хотя само отношение последовательности «позже чем» не обладает каким-либо «направлением», будучи асимметричным в обычном смысле, система состояний, упорядочиваемая им, не обладая *каким-либо* направлением, все же обнаруживает специфические *различия* или анизотропию между *двумя противоположными направлениями*. Таким образом, когда мы говорим об анизотропии времени, не следует истолковывать ее как утверждение, эквивалентное тем, которые делаются относительно «данного» направления времени. Как правильно отмечают Смарт и Блэк, ссылка на «данное» направление времени поддается представлению о «течении» времени¹. В частности, как

¹ J. J. C. Smart, *The Temporal Asymmetry of the World, «Analysis»*, Vol. XIV (1954), p. 81; M. Black, *The «Direction» of Time, «Analysis»*, Vol. XIX (1959), p. 54.

мы увидим в десятой главе, утверждение Рейхенбаха о «данном» направлении времени основывается на ошибочном предположении, что якобы существует физическая основа становления в смысле определяемого физическими параметрами «теперь», перемещающегося вдоль одного из двух различных в физическом отношении направлений времени. Напротив, наша характеристика физического времени как анизотропного не содержит никаких ссылок на какое бы то ни было преходящее деление времени на прошлое и будущее моментом «теперь», однонаправленное «продвижение» которого определяло бы направление времени. На самом деле, как мы покажем в десятой главе, концепция становления не имеет никакого содержательного применения к физическому времени вопреки ее связи с психологическим временем и временем здравого смысла, поскольку «теперь», по отношению к которому получает смысл различие между прошлым и будущим, в решающей степени зависит от эгоцентрической точки зрения организма, обладающего сознанием. Тем не менее с учетом этого разъяснения мы будем для краткости использовать выражение «направление времени» в качестве синонима не только «направления в будущее» психологического времени, но и «одного из двух физически различаемых направлений времени, которое в нашей теории именуется «положительным»».

Наше рассмотрение логических отношений между симметричной причинностью, открытым временем, анизотропией времени, а также решение вопроса о том, является ли присущая времени последовательность внешней или внутренней, требуют опровержения следующего утверждения Рейхенбаха:

При обсуждении проблем, связанных с временем, обычно утверждают, что только необратимые процессы придают отношению причинности асимметричность, тогда как обратимые приводят к симметричным причинным отношениям. Такие представления ошибочны. Направление времени могут определить только необратимые процессы, что же касается обратимых процессов, то они определяют скорее порядок времени и тем самым придают отношению причинности асимметричность. Отсылаем читателя к обсуждению отношения *налево от*... Правильным же является утверждение, что только необратимые процессы характеризуют однонаправленную причинность¹.

¹ Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 51.

Рейхенбах отмечает, что, хотя причинные процессы классической механики и специальной теории относительности являются обратимыми, эти «обратимые» теории тем не менее пользуются временным порядком, который является *последовательным*. Затем он ссылается на то, что а) даже в обратимом мире причинные процессы должны быть асимметричными, и б) от необратимого мира мы требуем таких временных отношений, которые не только являются последовательными, но и «однонаправленными» точно так же, как и причинные отношения, которые являются и симметричными и однонаправленными. Однако Рейхенбах, по-видимому, совершенно упустил из виду, что если физическая теория постулирует последовательный характер времени в полностью обратимом мире, то в таком случае эта последовательность привносится в него извне и приписывание меньшего из двух вещественных чисел в качестве временного обозначения одному из двух причинно связанных событий не выражает никакой объективной асимметрии самих причинных отношений.

Теперь мы можем перейти к рассмотрению вопроса о том, обеспечивают ли термодинамические процессы физическое основание анизотропии времени. Иначе говоря, перед нами стоит проблема, можно ли с помощью энтропии, значение которой задается вещественными числами, установить (в отличие от причинности обратимых процессов) анизотропию открытого времени, *внутренне* обуславливая порядок последовательности в классе состояний замкнутой системы. Прежде всего мы рассмотрим эту проблему в свете феноменологической термодинамики классической физики. Затем перейдем к специальному рассмотрению интерпретации, основанной на понятии энтропии в статистической механике. Во второй части данной главы будет рассматриваться проблема существования *неэнтропийного* физического основания анизотропии времени. Будет показано, что как термодинамические, так и нетермодинамические необратимые процессы по своему характеру являются выражением необратимости *де-факто*, или номологически случайными.

1. Закон энтропии в классической термодинамике

Предположим, что физическая система создана таким образом, что один ее конец горячий, а другой холодный, и она, по существу, изолирована от остального мира. В пов-

седневном опыте мы не обнаружим, что горячий конец станет еще горячее за счет понижения температуры холодного. Напротив, система стремится к равновесному состоянию, которое характеризуется средней температурой. И наконец, поскольку речь идет об обычном физическом опыте, этот чистый процесс выравнивания температуры является необратимым. Можно более точно охарактеризовать эту необратимость, сопоставляя каждому мгновенному состоянию замкнутой системы некоторую величину, именуемую энтропией. Энтропия позволяет следующим образом выразить относительную меру степени выравнивания температуры, достигнутую системой в данном состоянии: необратимому выравниванию температуры, связанному с переходом от начального состояния к конечному, соответствует возрастание энтропии. Соответственно для замкнутой системы, еще не находящейся в состоянии равновесия, второй закон термодинамики в его первоначальной нестатистической форме утверждает возрастание энтропии со временем¹.

¹ Хотя мы еще будем иметь случай убедиться в том, что феноменологический принцип возрастания энтропии, предложенный Клаузиусом, несомненно, требует поправок в свете достижений статистической механики, нам хотелось бы высказать свое несогласие со следующим утверждением Мельберга [см.: «Current Issues in the Philosophy of Science», p. 115]: «Только строгая аксиоматизация феноменологической термодинамики, которой мы обязаны Каратеодори [C. Carathéodory, Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik, «Mathematische Annalen», 1909], выявила применимость второго феноменологического принципа термодинамики также и к проблемам необратимости и анизотропии. Этот важный результат был подчеркнут профессором Ланде в его публикации, анализирующей работу Каратеодори [A. Landé, Axiomatische Begründung der Thermodynamik durch Carathéodory, «Handbuch der Physik», Bd. IX (1926), S. 281—300]». Однако в этой статье мы находим такое высказывание профессора Ланде: «Теория квазистатистических изменений состояния (существование энтропии и т. д.) не зависит от утверждений о поведении нестатистических процессов, так, например, все теоремы... для квазистатистических процессов будут оставаться справедливыми, даже если в случае нестатистических процессов... необратимые процессы повернули бы свое течение в направлении, противоположном действительному» [ibid., S. 299]. «Следовательно, наш первый вывод состоит в том, что для существования энтропии не имеет значения, являются ли сами квазистатистические процессы обратимыми или нет» [ibid., S. 300. Это цитата из Эренфеста]. «Второй вывод состоит в том, что существование энтропии (или квазистатистическая аддиабатическая недостижимость соседних точек) точно так же не зависит от того, являются ли нестатистические процессы обратимыми или нет. Таким образом, второй закон для *квазистатистических* изменений

Мы увидим, что в свете статистической механики второй закон в его нестатистической форме оказывается несостоятельным. Тем не менее будет полезным сперва дать оценку этому закону в его первоначальной форме, предложенной Клаузиусом, поскольку Эддингтон рассматривал эту формулировку как основу анизотропии времени. И хотя оценка Эддингтоном оказалась, как мы убедимся, лишенной адекватного физического основания, изложение этой оценки и критика неправильного ее понимания Бриджменом будет иметь важное значение для наших целей.

Действительное содержание второго закона термодинамики в обычном изложении, приведенном выше, имеет ясный смысл, если направление возрастания времени определяется независимо от возрастания энтропии. Это наводит

состояния не будет подвергаться опасности даже в том случае, если кому-нибудь удастся сделать нестатические процессы обратимыми во времени. Конечно, в таком случае принцип Томпсона и Клаузиуса для нестатических процессов оказался бы несостоятельным... Это произошло бы в том случае, если бы в сферу рассмотрения включалось обращение во времени процессов, которые не запрещаются положениями кинетической теории» [ibid., S. 300]. По-видимому, оценка феноменологической термодинамики, предлагаемая Каратеодори — Ланде, не подтверждает положение, что закон Клаузиуса для нестатических процессов допускает обратимость последних во времени. Анализ, проведенный Ланде, позволяет сделать только следующее гораздо более слабое заключение, которое не может быть приведено в поддержку утверждения Мельберга, — если выйти за пределы феноменологической термодинамики и опираться на достижения статистической механики (кинетической теории) для подтверждения обратимости нестатических процессов, то в таком случае еще можно говорить о справедливости второго закона термодинамики для квазистатических процессов, хотя, как ясно выразился Ланде, «в таком случае принцип... Клаузиуса для нестатических процессов оказался бы несостоятельным». Поэтому вопреки Мельбергу становится очевидным, что поправки, которые должны быть сделаны ко второму феноменологическому закону термодинамики на том основании, что он приписывает необратимость нестатическим процессам, вовсе не выводятся из строгой аксиоматической оценки Каратеодори этого закона в рамках феноменологической термодинамики. Напротив, эти поправки полностью вытекают из сферы физических явлений, теоретическое осмысление которых требует обращения к статистическим соображениям, выходящим за пределы кругозора феноменологической термодинамики. Таким образом, мы не находим здесь подтверждения высказыванию Мельберга о том, что аксиоматизация Каратеодори «выявила применимость второго феноменологического принципа термодинамики также и к проблемам необратимости и анизотропии».

на мысль, что независимый критерий возрастания времени можно получить (в отличие от рассеяния энергии из непрерывного приращения вещества и энергии, постулируемого «новой космологией»¹) в рамках пространственно ограниченной и краткой космической эволюции человека — путем ссылки на субъективное чувство временного порядка в человеческом сознании. Однако мы отвергаем оба предлагаемых критерия. Мы не намереваемся обосновывать фактуальное содержание такого, по сути дела, земного макроскопического закона, как закон Клаузиуса, на довольно спекулятивной космологии, где *приращение* материи-энергии обнаруживает себя *макроэмпирически* по отношению к нам только в том, что существует *устойчивое состояние!* Мы также увидим, что некоторые важные свойства субъективного чувства временного порядка могут быть объяснены на основе участия человеческого организма в процессах, подчиняющихся *энтропийной статистике* пространственных ансамблей временно замкнутых систем. Если обосновывать анизотропию физического времени, следуя Эддингтону², на предположении, что в одном из двух противоположных направлений времени, которое именуется направлением «позже», энтропия замкнутой системы *возрастает*, а в противоположном *уменьшается*, то не следует ли рассматривать в таком случае второй закон как тавтологию? Нет, такой вывод не может быть доказан, даже если игнорировать существование жизнеспособных неэнтропийных критериев отношения «позже чем», которые будут обсуждаться в разделе Б данной главы. Конечно, если ограничиться *единственной* замкнутой системой и затем сказать, что из двух ее энтропийных состояний состояние, характеризующееся более высокой энтропией, будет названо более «поздним», чем другое, тогда, конечно, попытка передать действительное содержание второго феноменологического закона термодинамики окажется неудачной. Однако точно так же, как и в случае иных спецификаций эмпирических индикаторов, представляющих собой «определения» только

¹ Более подробно о «новой космологии» см.: H. Bondi, *Cosmology* (2nd Edition, Cambridge: Cambridge University Press, 1961). Краткое изложение см. в: A. Grünbaum, *Some Highlights of Modern Cosmology and Cosmogony*, «The Review of Metaphysics», Vol. V (1952), pp. 493—498.

² См.: A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, pp. 69ff.

в *слабом* смысле (как это отмечалось еще в первой главе в связи с «определением» конгруэнтности), эддингтоновское *нестатистическое* энтропийное определение отношения «позже чем» было подсказано предполагаемым *эмпирическим* фактом отсутствия противоречий и неопределенности при использовании *разных* замкнутых систем. Ибо независимо от статистических модификаций, которые мы в настоящее время игнорируем, существует согласованность в поведении всех замкнутых систем. Например, даны любые две такие системы A и B , причем ни одна из них не находится в состоянии термодинамического равновесия. Если энтропия состояния S_{A_j} системы A одновременна с состоянием S_{B_j} системы B , тогда состояние S_{A_k} ни в коем случае не может быть одновременным с некоторым состоянием S_{B_i} при условии, если $S_{A_k} > S_{A_j}$, в то время, как $S_{B_i} < S_{B_j}$ ¹. Именно это предполагаемое согласование между величинами энтропии термодинамических систем побудило Эддингтона попытаться использовать второй закон термодинамики для оценки анизотропии времени². Однако именно выбор названия «стрела времени» (которое, кстати говоря, является весьма неудачным, ибо вводит в заблуждение) для последнего свойства физического времени привел по иронии судьбы к тому самому неправильному пониманию, которого он так стремился избежать³, а именно его намерения были истолкованы как попытка предложить термодинамическую основу для «однонаправленного течения» психологического времени. Эддингтон утверждал, что энтропийное поведение

¹ Примеры других «определений», имеющих фактуальное обоснование в соответствии с поведением различных тел, таковы: во-первых, «определение» метрики времени на основе эмпирического закона инерции и, во-вторых, «определение» конгруэнтности пространственно разделенных тел на основе предположения, что два тела, конгруэнтные в данном месте, останутся таковыми везде независимо от траекторий, по которым передвигается каждое из них. См.: M. Schlick, *Are Natural Laws Conventions?* в: H. Feigl and M. Scriven (eds.), *Readings in the Philosophy of Science*, New York: Appleton-Century-Crofts, 1953, p. 184; H. Reichenbach, *Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis*, «Handbuch der Physik», Bd. IV (1929), S. 52—53; его же: «The Philosophy of Space and Time», pp. 16—17.

² A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, pp. 69ff.

³ *Ibid.*, pp. 68, 87—110.

замкнутых физических систем позволяет следующим образом различать два *противоположных по своей структуре* направления в сторону *более ранних и более поздних моментов* соответственно: из двух состояний мира *более поздним* является то, которое совпадает с *более высокой* энтропией любой замкнутой неравновесной системы, тогда как *более раннему* состоянию соответствует *более низкий* уровень энтропии. Так, согласно Эддингтону, анизотропия физического времени выводилась бы из предполагаемого факта, что в одном из двух противоположных направлений времени, которое мы называем направлением «позже», энтропия любой замкнутой системы возрастает, тогда как в противоположном направлении энтропия *уменьшается*.

Если отношение «больше чем» для вещественных чисел выражает последовательность, то определение Эддингтоном отношения «позже чем» с помощью энтропии, по существу, предполагает последовательность времени. Если всеобщая незамкнутость времени обеспечивается соответствующими граничными условиями, то незамкнутость и последовательность становятся атрибутами, относительно которых причинная теория времени ничего сказать не может. Однако Эддингтон, по всей видимости, не счел нужным отметить, что эта теория времени может сыграть важную роль в его определении с помощью энтропии отношения «позже чем». Ибо последнее предполагает координативные определения понятий «временное отношение между» и «одновременно» в самой формулировке второго закона термодинамики: эта формулировка использует понятие замкнутой системы, предполагая тем самым и «временное отношение между» (как мы это показали в сноске 2, стр. 234 в седьмой главе), и, кроме того, второй закон предполагает понятие одновременности, поскольку ссылается на энтропию *более общей* системы в *определенный момент времени*, а тем самым имплицитно предполагает *одновременное* существование состояний нескольких систем, каждое из которых характеризуется определенной энтропией.

Бриджмен высказал критические замечания в адрес предложенного Эддингтоном определения с помощью энтропии отношения «позже чем». Отправной точкой этих замечаний явились концептуальные обязательства относительно донаучных рассуждений о времени в рамках здравого смысла, абсолютизирующего момент «теперь» в пережива-

ниях сознания¹. Поэтому, как мы сейчас покажем, критика эддингтоновской оценки анизотропии физического времени является несостоятельной по причине ошибочного отождествления Бриджменом физического времени с «однонаправленным течением» времени здравого смысла и психологического времени.

Бриджмен утверждает, что возрастание энтропии не может рассматриваться в соответствии с «точкой зрения Эддингтона как фундаментальный указатель отношения «позже чем». Говоря о значении, которое, по его мнению, Эддингтон вкладывает в инвариантность законов механики, по отношению к обращению времени, Бриджмен формулирует свои возражения следующим образом:

Значение, которое Эддингтон приписывает независимости уравнений от обращения направления времени, состоит в следующем: соответствующие физические события остаются теми же самыми независимо от того, течет ли время вперед или назад, и его тезис состоит в том, что вообще в механических явлениях нет ничего, что указывало бы на течение времени вперед или назад. С другой стороны, в термодинамических системах, где энтропия со временем возрастает, время входит в дифференциальные уравнения в качестве первой производной, так что направление течения времени нельзя изменить, не меняя сами уравнения. Это должно указывать на то, что в термодинамической системе время должно течь вперед, тогда как в механической системе оно может течь и назад².

...как же поступать в каждом конкретном случае, чтобы решить, течет ли время вперед или назад? Если бы было обнаружено, что энтропия вселенной уменьшается, то можно ли сказать, что время течет назад, или следовало бы говорить, что уменьшение энтропии с возрастанием времени является законом природы?³

¹ Детальный разбор логических обязательств относительно донаучных рассуждений о времени содержится в публикации Селларса «Время и мировой порядок» (W. Sellars, Time and the World Order, «Minnesota Studies in Philosophy of Science», Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, Vol. III, pp. 527—616).

² P. W. Bridgman, Reflections of a Physicist, New York: Philosophical Library, 1950, p. 163.

³ Ibid., p. 163. Последнее высказывание Бриджмена может быть истолковано неверно. Мы считаем своим долгом отметить, что в том же самом очерке он совершенно недвусмысленно отвергал, как необоснованный, вывод статистической механики о том, что энтропия замкнутой системы будет заметно уменьшаться после длительного пребывания в состоянии равновесия. Точно так же он отрицал, как неосновательное, предположение о том, что микросоставляющие термодинамической системы могут сохранять обратимое поведение в соответствии с симметричными во времени законами, наблюдательное обоснование которых является только

Как мы видим, Бриджмен считает, что Эддингтон стремится подвести энтропийное основание под «течение вперед» психологического времени, а не анизотропии физического времени, поскольку Бриджмен ошибочно отождествляет эти два различных понятия. Но мы сейчас покажем, что как правдоподобие, так и неубедительность предлагаемой им аргументации против энтропийной оценки Эддингтоном анизотропии физического времени с помощью *reductio ad absurdum* вытекает из соединения этой незаконной идентификации с контрфактическим (*contra-fact*) высказыванием. Поэтому Бриджмену можно задать вопрос: при каких обстоятельствах было бы обнаружено, что энтропия вселенной уменьшается? Такая ситуация возникла бы только при такой противоречащей фактам возможности, когда физические системы или вселенная обнаруживали бы состояния с *более низкой* энтропией в моменты времени, которые психологически произошли позже, и состояния с более высокой энтропией в моменты времени, которые являются *психологически более ранними*, как, например, в гипотетическом случае, когда теплая вода разделяется на горячую и холодную, а время течет в обычном, с точки зрения человека, направлении. Чтобы оценить значение этого противоречащего фактам предположения, отметим, что переживание *B* психологически позже, чем переживание *A*, только, при одном из следующих двух условий: во-первых, содержание сознания-и-памяти, составляющее переживание *A*, является *составной частью* мемориального содержания переживания *B* или, во-вторых, переживание *B* содержит воспоминание о *самом факте* существования другого переживания *A* (например, о том, что я видел какой-то сон), однако в мемориальных ингредиентах *B* не наличествует *содержание* переживания *A* (например, подробности сна забыты)¹. Таким образом, психологически более поздними являются

макроскопическим. Поэтому гипотеза Бриджмена о том, что может быть обнаружено *уменьшение* энтропии, утверждает также, что существуют реальные наблюдения, которые говорят о том, что с возрастанием психологического времени энтропия повсюду уменьшается.

¹ Я премного обязан моему коллеге профессору Дженису, обратившему мое внимание (ссылкой на пример с воспоминанием о самом факте сновидения) на то, что первое из этих условий является только достаточным, *но не необходимым* для получения отношения быть психологически позже. Это предостережение должно точно так же относиться и к двум утверждениям Уильяма Джемса,

либо те моменты времени, в которые мы фактически обладаем большим количеством воспоминаний или большим количеством информации, либо моменты, в которые было бы возможно иметь более богатый запас воспоминаний, даже если последний не может быть реализован в силу частичного забывания. В соответствии с этим осуществление постулированной Бриджменом возможности обнаружения «уменьшения» энтропии потребовало бы возрастания энтропии физических систем, а направление психологического времени в будущее оказалось бы *во временном отношении направленным в противоположную сторону* в следующем смысле: во временном отношении возрастание энтропии в *физических системах не было бы также направлением* действительного или возможного накопления *памяти* (информации) в живых организмах, поскольку (реально или в возможности) более «богатые» состояния памяти совпадали бы во времени с теми состояниями физических систем, которые характеризовались бы более низким уровнем энтропии.

Обладает ли тогда логической убедительностью контрфактическое высказывание Бриджмена, являющееся основой доказательства несостоятельности оценки Эддингтоном анизотропии физического времени? Возражения Бриджмена представляются лишенными убедительности в свете следующих соображений. Прежде всего совершенно независимо от того, что Эддингтон вообще не заботился об оценке «течения вперед» психологического времени, на самом деле *в реальной действительности* именно продукты памяти живых организмов зависят, как мы это вскоре увидим, от *возрастания* энтропии в каких-то определенных областях внешнего окружения. И поскольку Эддингтон предлагал свой критерий как оценку того, что происходит на самом деле, адекватность этой оценки не может быть опровергнута логической возможностью контрфактического высказывания о противоположном направлении, которое делается Бриджменом. Но даже и в том случае, если бы предполагае-

если их считают справедливыми: «Наше восприятие течения времени... обязано... нашему воспоминанию о содержании, которое оно [то есть время] имело в предыдущий момент и которое, как мы чувствуем, совпадает или не совпадает с его содержанием теперь» (W. J a m e s, The Principles of Psychology, New York: Dover Publications, 1950, p. 619), а также «то, что является прошлым, известно как прошлое, должно быть известно совместно с тем, что является настоящим, и *в течение* «настоящего» момента времени» (ibid., p. 629).

мая Бриджменом ситуация воплотилась в действительность, она не опровергла бы утверждения Эддингтона, что 1) энтропийное поведение физических систем, как он хотел показать, превращает противоположные направления времени в анизотропные, поскольку энтропия каждой из этих систем уменьшается в одном направлении и увеличивается в другом, и 2) направление возрастания энтропии может быть названо направлением «позже чем» или направлением возрастания времени. Хотя Эддингтон сам предоставил все возможности для неправильного истолкования своей точки зрения, применив вводящий в заблуждение термин «стрела времени», фактически он выступал против неверного представления о том, что физическое время, характеризующееся энтропией, «течет вперед» в смысле наличия физического становления. Так, он специально подчеркивал¹, что это становление, столь привычное для *психологического* времени, не допускает концептуального толкования как атрибута физических процессов, поскольку включает в себя понятие «теперь». Вопреки Бриджмену Эддингтон не усматривал никакой проблемы в существовании *физического* времени, текущего назад, а не вперед, поскольку, как это подробно будет показано в десятой главе, метафора «течение» не имеет никакого отношения к *физическому* времени. С *физической* точки зрения определенные состояния становятся более поздними за счет определенных промежутков времени. Однако «течения» *физического* времени не существует, поскольку физически не существует никакого эгоцентрического (психологического) преходящего *теперь*. Более того, применительно к *психологическому* времени выражение «течь назад» внутренне противоречиво, ибо утверждение, что «теперь» перемещается вперед (в направлении будущего), является тавтологичным, что и будет продемонстрировано в десятой главе. Жидкость может течь в пространстве вверх или вниз, потому что смысл термина «течение» в пространстве не зависит от значения терминов «вверх» или «вниз». Однако применительно к *психологическому* времени значение метафоры «течь», являющейся глаголом, выражающим действие, содержит в себе и значение метафоры «вперед», то есть «от более раннего к более позднему». «Течение» метафорически выражает здесь перемещение

¹ A. S. E d d i n g t o n, The Nature of the Physical World, pp. 68—69 and Chapter iv.

«теперь» от раннего к позднему, или «вперед». Следовательно, если бы гипотетическая ситуация с противоположной направленностью времени, обрисованная Бриджменом, могла осуществиться на самом деле, мы бы сказали, что энтропия уменьшается с возрастанием психологического времени без какого-либо ущерба для оценки, предложенной Эддингтоном, но отнюдь не стали бы утверждать, что время «течет назад».

Кроме того, если бы возникла ситуация, которая рассматривалась Бриджменом, мы, пожалуй, не слишком долго смогли бы испытывать от этого неудобства. Пуанкаре и де Борегар дали качественное объяснение того, почему предсказание и действие стали бы невозможными при обстоятельствах, описанных Бриджменом¹. Допустим, например, что два тела, первоначально обладавшие одинаковой температурой, затем, в психологически более позднее время, стали бы иметь разные температуры. Не зная, какое из этих тел станет более горячим, мы могли бы сильно обжечься, коснувшись одного из них. Представьте себе, что вы принимаете теплую ванну, но не можете предсказать, по какой трубе подается кипяток. Или другой пример: известно, что трение является замедляющей силой, поскольку заставляет расходовать механическую энергию на возрастание энтропии с течением психологического времени. Согласно же контрфактическому предположению Бриджмена, оно должно быть ускоряющей силой, приводящей в движение покоящиеся тела, причем в непредсказуемых направлениях. Таким образом, с возрастанием психологического времени тепловая энергия покоящегося тела (например, увесистого камня) сама собой превращалась бы в механическую энергию движения, а предсказание направления, в котором двигалось бы это тело, было бы почти невозможным. И даже если бы нам в большинстве случаев удалось избежать гибели, поскольку мы не находились бы на пути этих непредсказуемых движений, мы, пожалуй, не выдержали бы тревог, порождаемых нашей неспособностью предвидеть и кон-

¹ H. Poincaré, *The Foundations of Science*, Lancaster: The Science Press, 1946, pp. 399—400; O. C. de Beauregard, *L'Irréversibilité Quantique, Phénomène Macroscopique*, в: A. George (ed.), *Louis de Broglie, Physicien et Penseur*, Paris: Albin Michel, 1953, p. 403; «*Théorie Synthétique de la Relativité Restreinte et des Quanta*», Paris: Gauthier-Villars, 1957, Chapter xiii, esp. pp. 167—171.

тролировать развитие повседневного окружения, которое постоянно угрожало бы нашей жизни.

Наконец, допустим, что условия, постулированные Бриджменом, дополняются следующим предположением: помимо подобных человеку гипотетических существ вида *A*, которые были бы способны воспринимать как психологически более ранние состояния физических систем с более высоким, а не с более низким уровнем энтропии, существует и другой вид подобных человеку существ *B*, которые обладают такой же, как и мы, способностью воспринимать эти же самые состояния с более высокой энтропией как психологически более поздние. В таком случае, как отмечает Норберт Винер, было бы очень трудно достигнуть общения между этими двумя видами *A* и *B*, чье психологическое чувство времени направлено в противоположные стороны. Винер пишет:

Очень интересный мысленный опыт — вообразить разумное существо, время которого течет в обратном направлении по отношению к нашему времени. Для такого существа никакая связь с нами не была бы возможна. Сигнал, который оно послало бы нам, дошел бы к нам в логическом потоке следствий — с его точки зрения и причин — с нашей точки зрения. Эти причины уже содержались в нашем опыте и служили бы нам естественным объяснением его сигнала, без предположения о том, что разумное существо послало сигнал... У этого существа были бы такие же представления о нас. Мы можем общаться только с мирами, имеющими такое же направление времени¹.

В развитие этого утверждения Винера рассмотрим ситуацию, когда наши виды *A* и *B* имеют различные сферы обитания, представленные на нашей диаграмме областями *A* и *B*.

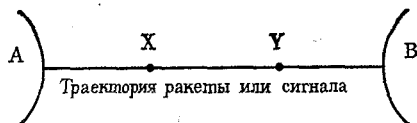


Рис. 6.

В таком случае мы можем показать, что любая частица или сигнал, который рассматривался бы одним из этих видов существ как *уходящий*, точно так же принимался за

¹ Н. В и н е р, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, М., 1958, стр. 52.

отбывающий и другим видом, а любой объект или сообщение, которое является *входящим*, по мнению представителя любого из этих видов, также будет рассматриваться как *прибывающее*, по мнению другого. Так, рассматривая случай с уходящим сигналом, предположим, как утверждают особи вида *A*, что частица-сигнал достигает точки *Y* своей траектории (см. диаграмму) позже, чем точки *X* и, следовательно, должна рассматриваться как уходящая. Тогда обитатели области *B* точно так же придут к выводу, что частица покидает их, поскольку они будут считать, что она достигнет точки *X* после того, как пройдет точку *Y*. Таким образом, если люди из области *A* утверждают, что они бросили камень в направлении области *B*, который упал там и остался лежать неопределенно долгое время, то и люди из области *B* в свою очередь скажут, что камень, который неопределенно долгое время находился в состоянии покоя (в их области), вдруг сорвался со своего места и полетел в область *A*, где его поймал рукой один из обитателей этой области. И если бы людям из области *B* показалось, что динамическое поведение этого камня противоречит поведению других камней, которые находятся в их области обитания — исходя из того, что последние повинуются обычным динамическим принципам, — то они после некоторого числа подобных экспериментов могли бы сделать вывод, что нарушение динамических законов связано в поведении этих камней, очевидно, с тем, что где-то имеются существа, время которых направлено в противоположную сторону¹. Однако

¹ Рейхенбах обсуждает ситуацию, которая рассматривалась Больцманом, когда существуют две энтропийно противоположные галактики, в каждой из которых живут мыслящие существа, чье чувство положительного времени обуславливается направлением возрастания энтропии в своем космическом окружении. Он говорит: «Пусть среди многих галактик существует одна такая, внутри которой время протекает в направлении, обратном направлению нашей галактики... В этом случае некоторая удаленная часть вселенной находилась бы на таком участке кривой энтропии, который по отношению к нашему участку характеризуется уменьшением энтропии; однако если бы в этой части вселенной были бы живые существа, то для них их окружение обладало бы всеми свойствами, характеризующими участок подъема» («Направление времени», стр. 191—192). Затем Рейхенбах делает следующие весьма сомнительные предположения относительно того, как могло бы происходить физическое взаимодействие между двумя системами мыслящих существ, которое позволило бы одной системе мыслящих существ получить надежную информацию, указывающую на противоположное направление времени другой: «Развитие

для того, чтобы прийти к такому выводу, обитатели системы В должны были бы предположить, что уменьшение энтропии в процессе внезапного приобретения камнем кинетической энергии от грунта менее вероятно, чем наличие где-то существ, для которых время течет в обратном направлении.

Наше предыдущее рассмотрение зависимости эддингтоновского определения отношения «позже» от исходных понятий «между» и «одновременно» позволяет дать ответ на другие возражения, выдвинутые Бриджменом¹.

Бриджмен утверждает, ссылаясь на операциональные соображения, что определение Эддингтона содержит круг

такой системы в противоположном направлении времени можно было бы обнаружить по дошедшему от системы до нас излучению и, возможно, по наличию смещения спектральных линий... излучение, идущее от этой системы в нашу систему... не покидало бы эту систему, а прибывало бы в нее. Возможно, этот сигнал мог бы быть истолкован обитателями этой системы как сообщение из нашей системы, говорящее им о том, что наша система развивается в обратном направлении времени. Здесь мы имеем связывающий световой луч, который с точки зрения одной системы прибывает в нее и исчезает в некотором абсорбционном процессе» (там же, стр. 192).

¹ P. W. Bridgman, *Reflections of a Physicist*, pp. 162—167. Возражения на предложенную Бриджменом критику эддингтоновского определения имеют силу и по отношению к аргументам, выдвинутым Л. Сюзанной Стеббинг против этого определения, как они изложены в ее книге «Философия и физики» («*Philosophy and the Physicists*», London: Methuen & Co., 1937, Chapter xi, esp. pp. 262—263).

Однако мне хотелось бы подчеркнуть, что мою защиту эддингтоновской «дефиниции» против критических замечаний Бриджмена (см.: «*The Nature of the Physical World*», pp. 84—85) не следует истолковывать как согласие либо вообще с его философией науки, либо с его взглядом, что предполагаемое прошлое состояние вселенной в целом, характеризующееся *минимумом* энтропии, представляет собой загадку, для решения которой уместны теологические идеи. Ибо я не только полагаю, что теологические соображения ничего не проясняют, во всяком случае с точки зрения физики (см. наши статьи: «*Some Highlights of Modern Cosmology and Cosmogony*», «*The Review of Methaphysics*», esp. pp. 497—498; «*Science and Ideology*», «*The Scientific Monthly*», Vol. LXXIX [1954], p. 13), но я также утверждаю, что статистическая концепция энтропии, о которой речь пойдет ниже, выбивает почву из-под ног эддингтоновского предположения о том, что вселенная в целом должна изначально находиться в состоянии, характеризуемом минимумом энтропии, а это предположение весьма существенно для эддингтоновского замешательства перед вопросом о происхождении этого предполагаемого состояния.

и что логически неизбежна ссылка на *психологический* смысл того, какой момент времени является «более поздним». Он говорит:

...в любом операциональном рассмотрении содержания естественных понятий понятие времени должно рассматриваться как основное (primitive), как такое понятие, которое не подлежит дальнейшему анализу и которое можно только постулировать... Я не вижу никаких способов сформулировать лежащие в основе его операции, не прибегая предварительно к понятию более раннего или более позднего во времени¹.

Пытаясь доказать, что более точное определение энтропии замкнутой системы в данный момент времени предполагает использование психологического смысла отношения «позже», Бриджмен говорит:

[Рассмотрим, что] включается в точное определение термодинамической системы. Одной из переменных является температура; недостаточно только снять показания с прибора, именуемого термометром, в данный момент времени, ведь существуют различные предосторожности, которые нужно соблюдать при его использовании, и наиболее важная из них состоит в необходимости удостовериться в том, что термометр пришел в равновесие со своей средой и тем самым показывает истинную температуру. *Чтобы удостовериться в этом, нужно наблюдать, как меняются показания термометра с возрастанием времени*².

Требования Бриджмена гораздо более строги, чем это оправдано точностью решения поставленной проблемы. Чтобы удостовериться в наличии равновесия в определенный момент времени, мы должны убедиться в отсутствии изменений в показаниях термометра в течение временного интервала, содержащего в себе момент t , который не является его конечной точкой. Однако нужно ли для этой процедуры знание того, какая из крайних точек интервала является более ранней, а какая более поздней с точки зрения обычного положительного направления времени? Не достаточно ли установить постоянство показаний между крайними мгновениями рассматриваемого интервала времени? Конечно, в данном случае речь будет идти только о временном отношении «между», которое, как мы уже видели, определяется каузальными процессами независимо от понятия «позже чем». Все это наносит серьезный ущерб эддингтоновскому «определению» данного понятия. Но практически

¹ P. W. Bridgman, Reflections of a Physicist, p. 165.

² Ibid., p. 167 (курсив мой. — А. Г.)

это не связано с возможностью фиксации эксперимента-тором одного из двух крайних моментов временного интервала, содержащего мгновение t , как более раннего. Ибо то, что является предметом спора, есть *семантическая* опора понятия в отличие от *прагматической* опоры понятия, и наше исследование связано скорее с ситуацией подтверждения, а не открытия¹. Совершенная необязательность субъективного чувства экспериментатора относительно более раннего и более позднего будет в дальнейшем очевидна из того факта, что он мог бы точно определить состояние равновесия в мгновение t , если бы ему был дан кусок ленты кинофильма с зафиксированными на ней постоянными показаниями в течение временного интервала между t_1 и t_2 , в пределах которого содержится t , причем ему не было бы известно, какой конец ленты соответствует более раннему моменту t_1 . Подобный же ответ можно дать на аргументы, выдвинутые Бриджменом¹, в пользу того, что *физический* смысл понятия «скорость» якобы предполагает наличие психологического чувства более раннего и более позднего. Мы уже видели, что чисто физические процессы в природе определяют различия между направлениями времени совершенно независимо от человеческого сознания. Точно так же для любого данного

¹ О дискуссии против неоправданного растворения Бриджменом семантики в прагматике, представляющей собой новую версию доктрины софистов, что человек есть мера всех вещей, см.: A. G r i n b a u m, *Operationism and Relativity*, «The Scientific Monthly», Vol. LXXIX (1954), pp. 228—231 [перепечатано в: P. F r a n k (ed.), *The Validation of Scientific Theories*, Boston: Beacon Press, 1957]. Такое же поглощение семантики прагматикой наблюдается в следующем утверждении Бриджмена: «Вообще значение наших представлений о микроскопическом уровне в конечном счете следует рассматривать в свете наших операций на макроскопическом уровне. Основание для этого состоит просто в том, что мы, для которых это значение существует, действуем на макроскопическом уровне. Сведение смысла квантовой механики к макроскопическому уровню, как полагаю, еще не завершено и представляет одну из главных задач, стоящих перед квантовой теорией» [«Reflections on Thermodynamics», «American Scientist», Vol. XLI (1953), p. 554].

Критику гомоцентризма Бриджмена в интерпретации квантовой механики см. у Рейхенбаха («Направление времени», стр. 295) и в моей работе «Complementarity in Quantum Physics and Its Philosophical Generalization», «The Journal of Philosophy», Vol. LIV (1957), p. 719.

¹ P. W. B r i d g m a n, *Reflections of a Physicist*, p. 167.

выбора направления в пространстве физические процессы сами по себе определяют значение как знаков (направлений), так и величин скоростей независимо от человеческого психологического чувства «раньше» или «позже». Бриджмен здесь вновь ошибочно смешивает два *различных* по значению компонента в понятиях и терминах физики: физический, или семантический, с психологическим, или прагматическим. Семантический компонент связан со свойствами и отношениями чисто физических сущностей, которые обозначаются (именуются) терминами, подобными термину «скорость». Напротив, прагматический компонент связан с действиями ученых, как физическими, так и умственными, в процессе *открытия* или *познания* свойств и отношений физических сущностей, выражающихся в определенной скорости. То, что физический смысл утверждений относительно скоростей каких-либо масс не обусловлен нашим психологическим чувством «более раннего» или «более позднего», доказывается тем фактом, что космогонические гипотезы ссылаются на скорости этих масс, существовавшие на такой стадии формирования нашей солнечной системы, которая предшествует эволюции человека и его психологическому чувству времени. Действительно, даже в полностью обратимом мире, лишенном существ, обладающих чувством времени, скорость была бы существенным атрибутом тела, несмотря на временную изотропию этого гипотетического мира. Однако эта изотропия привела бы к тому, что скорость в этом гипотетическом мире не была бы зафиксирована в анизотропном времени точно так же, как выделение положительного и отрицательного направления в пространстве нашего действительного мира, которое, по-видимому, изотропно, приводит к анизотропии этого пространства.

Напомним предложенное Пуанкаре и де Борегаром объяснение, почему определенные типы *предсказаний* и действий стали бы почти невозможными при тех гипотетических условиях, которые сформулированы в бриджменовском контрфактическом предположении. Пока мы остаемся в рамках феноменологического второго закона термодинамики, наш *действительный* мир представляется как такой, где возможность делать выводы из аналогичных начальных условий обладает прямо противоположной временной асимметрией. В нашем действительном мире существуют физические условия, по которым мы не можем заключать о прошлом, но можем предсказывать будущее. Существова-

ние этой специфической временной асимметрии завуалировано тем, что основное внимание направлено на обратимые процессы, прошлое которых столь же детерминировано, как и будущее, а также на условия, которые связаны с *открытыми* пульсирующими неравновесными системами и которые позволяют сделать вывод об их прошлом из их настоящего (как это мы сейчас увидим), тогда как вывод об их будущем вообще невозможен.

Рассмотрим более подробно условия, допускающие предсказание будущего и запрещающие в то же время ретроспективное высказывание о прошлом. Для этого мы сошлемся на уравнение, описывающее диффузионный процесс, в котором энтропия возрастает. Это уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = a^2 \frac{\partial \Psi}{\partial t},$$

где a^2 есть вещественная константа. Это уравнение отличается от волнового уравнения тем, что в нем берется не вторая, а первая производная по времени. В одномерном случае, например для теплового потока, общее решение уравнения относительно температуры Ψ выражается следующим образом:

$$\Psi(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin nx e^{-\frac{n^2}{a^2} t},$$

где b_n представляет собой константу. Это уравнение асимметрично во времени в двух смыслах: во-первых, если физическая система в момент времени $t = 0$ находится в состоянии равновесия, то из этого мы *не можем* заключить, какая частная последовательность неравновесных состояний вытекает из существующего состояния равновесия, поскольку ни одна из таких последовательностей не является единственной¹, и, во-вторых, если физическая система в момент $t = 0$ находится в неравновесном температурном состоянии, то она не могла подвергаться диффузии при всех

¹ Это отнюдь не означает, что не существует других начальных условий, при которых можно сделать вывод по крайней мере о конечном отрезке прошлого системы. Обсуждение этого случая см. в: J. C. Maxwell, Theory of Heat, New York: Longmans, Green and Co., 1880, p. 264; F. J o h n, Numerical Solution of the Equation of Heat Conduction for Preceding Times, в: «Annali di Matematica Pura ed Applicata», Vol. XL (1955), p. 129.

прошлых значениях t , хотя теоретически она может это испытывать при всех будущих значениях t . В частности, если внешние силы воздействуют на систему и вызывают неравновесное состояние с низкой энтропией в момент $t = 0$, нет никаких оснований предполагать, что система подвергалась диффузии до момента $t = 0$. И тогда уравнение диффузии не может быть использовано для заключения о прошлом системы, «до ее возникновения», на основе ее состояния в момент $t = 0$, хотя это уравнение можно использовать для предсказания ее будущего как замкнутой системы, подверженной процессу диффузии. Другая иллюстрация той же самой временной асимметрии относительно невозможности выводов при процессах уравнивания может быть дана на примере шара, скатывающегося вниз по внутренней поверхности круглой чаши, причем процесс сопровождается трением. Если шар находится в состоянии покоя на дне чаши, мы не можем сделать ретроспективное высказывание относительно его частного пути движения до этого момента, но если шар скатывается по внутренней поверхности, находясь недалеко от ее края, мы можем предсказать его движение до состояния покоя на дне чаши.

Эта возможность предсказания будущих состояний необратимых процессов в замкнутых системах при соответствующих условиях перед лицом загадочной темноты, окутывающей их прошлое, настолько важна, что Хилле, следуя анализу принципа Гюйгенса в оптике, проделанному Хадамардом, сформулировал фундаментальный принцип научного детерминизма: «Из состояния [замкнутой] физической системы в момент времени t_0 мы можем вывести ее состояние в более позднее [но не в более раннее] мгновение t »¹.

Если это так, то естественно спросить, почему во многих случаях с необратимыми процессами мы, по-видимому, более надежно информированы относительно их прошлого, неже-

¹ E. Hille, *Functional Analysis and Semi-Groups*, New York: American Mathematical Society Publications, 1948, Vol. XXXI, p. 388. С математической точки зрения различие между временной симметрией детерминации в случае обратимых процессов и соответствующей асимметрией необратимых процессов выражается в том, что уравнения в первом случае дают возрастание ассоциативных групп линейных преобразований, тогда как вторые, напротив, приводят к полугруппам. См. также: M. S. Watanabe, *Symmetry of Physical Laws, Part III, Prediction and Retrodiction*, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXVII (1955), pp. 179—186.

ли относительно их будущего. Этот вопрос был поставлен Шликом, указавшим на то, что отпечаток человеческой ступни на песчаном берегу позволяет нам сделать вывод о том, что кто-то был здесь в прошлом, но не о том, что кто-то будет проходить в будущем. Его ответ гласит: «Структура прошлого выводится не из той степени, до которой энергия рассеивалась [то есть не из степени возрастания энтропии], но из пространственного расположения объектов»¹. И добавляет, что ясно различимые пространственные следы всегда возникают в соответствии с принципом энтропии. Таким образом, в случае с пляжем кинетическая энергия чьей-то ноги была израсходована в процессе расположения песчинок в форме отпечатка, постоянство (относительное) которого объясняется, в частности, тем, что кинетическая энергия нажима ноги потеряла свою организацию в процессе передачи ее песчинкам. Утверждение Шлика, что процесс оставления следа происходит в соответствии с принципом энтропии, совершенно верно. Однако Шлику не удалось ясно выразить логику использования принципа энтропии при ретроспективных выводах.

Чтобы пояснить логику ретроспективного вывода о том, что кто-то проходил по пляжу, мы, забегаая вперед, используем результаты, вытекающие из нашего последующего обсуждения статистической энтропии временно замкнутых систем. Подтверждение вывода о чьем-то пребывании на пляже в прошлом обусловлено следующими соображениями:

1) большинство систем, которые мы теперь находим в изолированном состоянии с относительно низкой энтропией, ведут себя так, как если бы они могли оставаться изолированными независимо от того, были ли они непрерывно замкнутыми в прошлом или будут оставаться таковыми неопределенно долгое время в будущем;

2) в случае такой временно изолированной, или «ответившейся», системы мы на основе современной ее упорядоченности, или состояния с низкой энтропией, можем сделать

¹ M. Schlick, Grundzüge der Naturphilosophie, Wien, 1948, S. 106—107. Смарт [«The Temporal Asymmetry of the World», «Analysis», Vol. XIV (1954), p. 80] также обсуждал проблему значения следов, однако пришел к следующему неоправданному агностическому выводу: «Таким образом, асимметрия понятия следа должна как-то справиться с идеей бесформенности или хаоса. Но не так-то легко увидеть, как именно». См. также его статью в: «Australasian Journal of Philosophy», Vol. XXXIII (1955), p. 124.

Достоверный вывод о прошлом взаимодействии системы с внешней силой, то есть вывод недопустимый (как это мы в дальнейшем подробно покажем), если исходить из статистической версии второго закона термодинамики и пытаться использовать ее при рассмотрении одной-единственной непрерывно замкнутой системы;

3) ретроспективный вывод основывается на предположении, что переход системы от раннего состояния с высокой энтропией к современному состоянию с низкой энтропией является совершенно невероятным, если система была изолирована; такое предположение основывается на частоте таких переходов в рамках пространственного ансамбля *ветвящихся* систем, причем каждая из этих систем рассматривается в два различных момента времени; предположение о невероятности таких переходов не относится к временной последовательности энтропийных состояний одной-единственной *непрерывно* замкнутой системы.

Что касается случая с прохожим на пляже, то здесь эти соображения принимают следующий вид. Мы предполагаем, что сам пляж был квазизамкнутой системой, близкой к состоянию равновесия (гладкая поверхность песка) во время, предшествующее тому моменту, когда мы столкнулись с отпечатками ног на песке. И мы из обнаруженного нами более позднего состояния получаем информацию о том, что степень упорядоченности песчинок выше, а их энтропия ниже, чем она должна была быть, по всей вероятности, если бы пляж на самом деле оставался квазизамкнутой системой вплоть до нашего прибытия туда. Ибо крайне невероятно, чтобы пляж, который не является непрерывно замкнутой системой, сам по себе эволюционировал от более раннего состояния беспорядочности (гладкая поверхность) к состоянию более высокой организации, хотя статистический принцип энтропии предусматривает именно такое поведение одной-единственной непрерывно замкнутой системы. Следовательно, делаем мы вывод, после своего первоначального состояния относительной гладкости пляж был открытой взаимодействующей системой, возрастание порядка которой произошло за счет по крайней мере эквивалентного уменьшения организации какой-то внешней системы, находившейся в состоянии взаимодействия с пляжем (прохожий расходует энергию в метаболическом процессе). Таким образом, наш ретроспективный вывод, что кто-то прошелся по пляжу, не основывается на предположении,

что в *непрерывно* замкнутой системе энтропия со временем никогда не уменьшается. Как мы сейчас увидим, это предположение в статистической механике оказывается несостоятельным.

II. Статистическая аналогия закона энтропии

Наш анализ энтропии до сих пор ограничивался макроскопическим контекстом термодинамики и не уделял должного внимания тем важным вопросам, которые возникают в связи с возможностью применения энтропийного критерия в качестве основы анизотропии времени, если рассматривать закон энтропии в свете статистических соображений классической и квантовой механики. Эти вопросы, к которым мы сейчас перейдем, возникают в связи с попыткой обоснования феноменологической необратимости классической термодинамики исходя из принципов статистической механики, которая утверждает, что движение микроскопических составляющих термодинамических систем полностью обратимо.

Если мы с точки зрения кинетической теории газов сравним газ с крайне неуравновешенной температурой с газом, находящимся в состоянии, близком к равновесному, то заметим, что скорости молекул будут почти равными в состоянии, близком к равновесному, которое характеризуется высоким уровнем энтропии, в отличие от неравновесного состояния с относительно низкой энтропией.

Следовательно, *высокая* энтропия соответствует

- 1) высокой степени выравнивания между молекулами,
- 2) большой однородности,
- 3) состоянию, которое характеризуется хорошим перемешиванием,
- 4) *низкому уровню макроразделения,*
- 5) *низкому уровню порядка, где «порядок» означает не равномерность и однородность, а, наоборот, неоднородность.*

Применение ньютоновой механики материальных точек к молекулам идеальных газов происходит следующим образом: каждая из n молекул газа в замкнутой системе обладает положением и скоростью или, говоря более точно, тремя пространственными координатами x , y и z и тремя компо-

нентами скорости. Следовательно, *микросостояние* газа можно охарактеризовать в любой данный момент времени точным определением шести атрибутов, а именно пространственных положений и скоростей, соответствующих каждой из n молекул, причем каждое значение будет задано в определенных границах точности. Микросостояние газа в любой данный момент времени можно в таком случае представить в виде точек, расположенных в клетках шестимерного пространства координат-скоростей, или «фазового пространства». И тогда каждая из n молекул будет находиться в какой-то одной из конечного числа m клеток в соответствии с объемом и общей энергией газа.

Частное расположение (arrangement) n индивидуальных молекул в числе m клеток представляет собой микросостояние газа. Таким образом, если две индивидуальные молекулы газа A и B поменяются своими положениями и скоростями, то в результате получится другое расположение. Однако *макроскопическое* состояние газа, то есть его пребывание в состоянии, когда температура газа близка к однородной, или в состоянии весьма неоднородной температуры, не зависит от того, занимают ли молекулы A и B определенные точки объема и обладают ли они данной скоростью. С *макроскопической* точки зрения существенно, в каком месте объема находятся более быстрые молекулы, повышая тем самым температуру той или иной его части. Иными словами, макросостояние зависит от того, *сколько* молекул находится в определенных местах объема, а также от соответствующих им скоростей. Таким образом, макросостояние зависит от численного распределения молекул по координатам и скоростям, но не от частного отождествления молекул, обладающих определенными атрибутами пространства или скорости. Отсюда следует, что *одно и то же* макросостояние может быть *представлено* некоторым *числом различных* микросостояний, как в случае обмена микроскопическими ролями между нашими двумя молекулами A и B .

Основной постулат статистической механики гласит, что каждое из m^n возможных расположений или микросостояний возникает во времени с одинаковой частотой, или обладает *одинаковой* вероятностью $1/m^n$. Этот постулат о равновероятности называется квазиэргодической гипотезой и приводит к так называемой вероятностной метрике статистики Максвелла — Больцмана, поскольку он утверждает оди-

наковую вероятность, или частоту их осуществления, во времени¹.

Сейчас важно убедиться в том, что число микросостояний W , соответствующее макросостоянию, близкому к равновесию (однородная температура), или состоянию с высокой энтропией, неизмеримо больше числа микросостояний, соответствующих неравновесному макросостоянию неоднородной температуры, или состоянию, характеризующемуся весьма низкой энтропией. На простом примере это станет очевидным.

Рассмотрим пространство координат-скоростей, или фазовое пространство, состоящее только из четырех ячеек, и пусть существуют только два различных распределения (макросостояния) четырех частиц в этих ячейках:

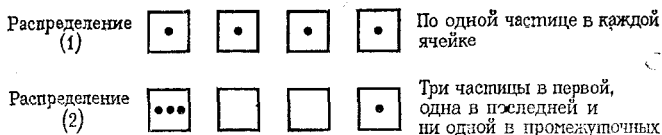


Рис. 7.

Число различных перестановок четырех частиц в ряду составляет величину $4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$. Таким образом, число W различных расположений или микросостояний, соответствующих *гомогенному, уравновешенному* макросостоянию, задаваемому распределением (1), равно 24. Однако для второго случая *негомогенного, неуравновешенного* состояния W не равно 24, поскольку перестановки трех частиц *в пределах* первой ячейки не приводят к различным расположениям. Следовательно, для второго случая W имеет

¹ Так называемая квазиэргодическая гипотеза не есть утверждение, основанное на недостаточности наших знаний о действительной относительной частоте различных микросостояний. Напротив, она обладает логическим статусом теоретического требования, соответствующего факту, который считается допустимым. Однако недостаток наших знаний в данном случае состоит в том, что мы не можем сказать, какое из множества микросостояний на самом деле является основой данного макросостояния, и сделать вывод о том, в какой момент времени система будет характеризоваться определенным макросостоянием.

место намного меньшее числовое значение $4!/3! = 4^1$. И поскольку энтропия S задается формулой $S = k \log W$, где k является константой, то во втором случае она будет ниже, чем в первом.

Теперь становится очевидным, что с течением времени состояния газа с высокой энтропией более вероятны и встречаются чаще, чем состояния с низкой энтропией. Ибо 1) предполагается, что все расположения равновероятны, то есть встречаются с одинаковой частотой, и 2) гораздо больше расположений соответствует макросостояниям с высокой энтропией, а не с низкой. Утверждение о том, что состояния с высокой энтропией более вероятны, означает, что газ расходует подавляющую часть своей бесконечно долгой эволюции в замкнутой системе на состояния с высокой энтропией, или на равновесные состояния. В таком случае это и есть статистическая аналогия закона возрастания энтропии, который утверждает, что если замкнутая система находится в неравновесном состоянии относительно низкой энтропии, то возрастание энтропии со временем имеет подавляющую вероятность благодаря переходу частиц в состояние с равновесным распределением. Этот статистический закон энтропии известен также, как « H -теорема» Больцмана. Величина H связана с энтропией S посредством соотношения $S = -kH$, так что возрастанию энтропии соответствует уменьшение H .

Чтобы оценить значение этого статистического закона энтропии для анизотропии времени, напомним, что движение частиц, согласно законам Ньютона, полностью обратимо. Согласно всем другим известным законам, управляющим поведением элементарных составляющих физических процессов, их поведение точно так же обратимо. Так, уравнения Максвелла для электромагнитных явлений и фундаментальные вероятности переходов состояний квантовомеханических систем симметричны относительно времени.

¹ Вообще формула Бернулли для W записывается так: $W = n! / (n_1! n_2! n_3! \dots n_m!)$, где $\sum_1^m n_i = n$. Если мы хотим *нормализовать* термодинамическую вероятность (которая является большим числом) с тем, чтобы она была меньше 1, то мы должны разделить ее на общее число расположений для всех распределений. Таким образом (нормализованная) вероятность W_p какого-то частного распределения задается величиной $W_p = W/m^n$.

Случай с газом, состоящим из ньютоновских частиц, ведущих себя обратимым образом, рассматривается нами как ответ на вопрос: может ли закон энтропии в его статистической форме для непрерывно замкнутой системы явиться основой анизотропии времени?

Наш ответ будет отрицательным. Уже вскоре после формулирования Больцманом своей теоремы стал очевиден логический пробел в рассуждениях, с помощью которых подавляющую вероятность макроскопической необратимости выводили из предварительного приписывания микропроцессам полной обратимости. Ибо, согласно принципу динамической обратимости, интегрирующему эти предположки, любому возможному движению системы соответствует равновозможное обратное движение, когда при обратном значении скоростей достигается обратное значение координат¹. Таким образом, поскольку вероятность того, что молекула обладает данной скоростью, не зависит от знака этой скорости, молекула в течение некоторого времени будет иметь скорость $+v$ столь же часто, как и скорость $-v$. И процессы разделения в течение этого времени будут происходить так же часто, как и процессы перемешивания, поэтому микросостояния, которые приводят к *разделению* теплого и холодного газов, будут встречаться столь же часто, как и микросостояния, имеющие своим результатом перемешивание газов и выравнивание температур. Исходя из этих соображений, Лошмидт выдвинул *возражение обратимости*, которое состояло в том, что для любого поведения системы, приводящего к возрастанию энтропии S со временем, существует равновозможное понижение энтропии². Таким образом, тот факт, что газ растрчивает большую часть времени своего развития на состояния с высоким уровнем энтропии, вовсе не устраняет возможности одинаковой частоты понижения и возрастания энтропии с течением времени. Критические замечания, подобные замечаниям Лошмидта, были выдвинуты Цермело³ в так назы-

¹ См.: R. C. Tolman, The Principles of Statistical Mechanics, pp. 102—104.

² J. Loschmidt, Über das Wärmegleichgewicht eines Systems von Körpern mit Rücksicht auf die Schwere, «Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften», Wien, Bd. LXXIII (1876), S. 139; Bd. LXXV (1877), S. 67.

³ E. Zermelo, Über einen Satz der Dynamik und der mechanischen Wärmetheorie, Wiedemannsche Annalen [Annalen der Physik und Chemie], Bd. LVII (1896), S. 485.

ваемом *возражении периодичности* на основании теоремы Пуанкаре¹. Из теоремы Пуанкаре следует, что поведение изолированной системы в течение долгого времени представляет собой последовательность флуктуаций, в которых значение S будет уменьшаться столь же часто, как и возрастать. Цермело задает вопрос, как это можно примирить с утверждением Больцмана о том, что если изолированная система находится в состоянии с низкой энтропией, то существует подавляющая вероятность того, что система находится действительно в таком микроскопическом состоянии, из которого она изменяется в конечном счете в направлении более высоких значений S^2 .

Эти логические трудности удалось преодолеть Эренфестам³. Они объяснили, что не существует никакой несовместимости между i) утверждением, что *если* система находится в состоянии с низкой энтропией, то *относительно* этого состояния весьма вероятно, что система скоро перейдет в состояние с более высокой энтропией, и ii) утверждением, что система опускается из состояния с высокой энтропией в состояние с более низкой энтропией столь же часто, как и поднимается в противоположном направлении, что делает равной *абсолютную* вероятность этих двух переходов противоположного типа. Совместимость равенства этих двух абсолютных вероятностей с *высокой* отно-

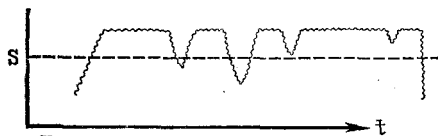
¹ H. Poincaré, Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique, «Acta Mathematica», Vol. XIII, 1890, p. 67.

² Дополнительные детали этих возражений и ссылок на ответ Больцмана см. в: P. Epstein, Critical Appreciation of Gibbs's Statistical Mechanics, в: A. Haas (ed.), A Commentary on the Scientific Writings of J. Willard Gibbs, New Haven: Yale University Press, 1936, Vol. II, pp. 515—519. См. также: C. Truesdell, Ergodic Theory in Classical Statistical Mechanics, в: P. Caldirola (ed.), Ergodic Theories, New York: Academic Press, 1961, pp. 21—56.

³ P. and T. Ehrenfest, Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik, в: «Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften», IV, 2, II, S. 41—51. См. также: P. C. Tolman, The Principles of Statistical Mechanics, pp. 152—158, esp. p. 156; R. Fürth, Prinzipien der Statistik, в: H. Geiger und K. Scheel (eds.), Handbuch der Physik, Berlin: J. Springer, 1929, Bd. IV, S. 270—272; H. Reichenbach, Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis, S. 62—63.

Классическое исследование Эренфестов было уточнено и обобщено на случай квантовой теории в очень важной статье Д. Тер Хаара. См.: D. Ter Haar, Foundations of Statistical Mechanics, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXVII (1955), pp. 289—338.

сительной вероятностью для будущих переходов к высоким уровням энтропии становится вполне правдоподобной, если вспомнить, что i) состояния с низкой энтропией, характеризующиеся относительно высокой вероятностью последующего возрастания энтропии, обычно находятся в низких точках траектории, где начинается обратное изменение к высоким значениям, и ii) H -теорема Больцмана не устраняет, следовательно, возможности одинаковой частоты возрастания и уменьшения S в подобных системах. Таким образом, если рассматривать большое число состояний газа, характеризующихся низким уровнем энтропии, то можно обнаружить, что громадное большинство их вскоре сменяется состояниями с высокой энтропией. И именно в этом смысле мы можем сказать: в высшей степени вероятно, что за состоянием с низкой энтропией вскоре последует состояние с высокой энтропией. Это не менее истинно, чем утверждение, что состоянию с низкой энтропией с равной вероятностью *предшествует* состояние с высокой энтропией. Вариации энтропии во времени, воплощающие совместимость этих двух утверждений, могут быть проиллюстрированы ступенчатой кривой энтропии¹.



Кривая, характеризующая изменение энтропии непрерывно замкнутой системы

Рис. 8.

От H -теоремы Больцмана можно теперь отвести возражения обратимости и периодичности, если дополнить ее важной оговоркой: утверждение о большой вероятности возрастания энтропии в будущем *не* должно истолковываться как равнозначное утверждению о *большой* вероятности *предшествования* низким значениям энтропии *еще более низких ее значений в прошлом*. Ибо, как мы уже видели, относительная вероятность того, что состоянию с *низкой* энтропией *предшествовало* состояние с *высокой* энтропией, равна вероятности того, что за состоянием с *низкой* энтро-

¹ См.: R. Fürth, Prinzipien der Statistik, в: H. Geiger und K. Scheel (eds.), Handbuch der Physik, S. 272.

пией *последует* состояние с высокой. Соблюдение вытекающих отсюда условий приводит к *двум* следствиям фундаментальной важности. Их дедуктивный вывод зависит от статистического закона энтропии для *непрерывно* замкнутой системы. Рассмотрим эти следствия.

1. Первое из них лишает термодинамических оснований предположение о том, что если только современное состояние системы представляет собой состояние с *низким* уровнем энтропии, то вполне закономерно предположить, что данное упорядоченное состояние является *правдивым следом* более ранних состояний с еще более низкими уровнями энтропии, начало которым было положено специфическим *взаимодействием* системы с внешними силами. Фон Вейцзекер высказал правильное предположение¹, что при отсутствии других оснований для противоположного вывода статистический закон энтропии сам дает основание рассматривать современное упорядоченное состояние системы как *случайно достигнутое* состояние с низким уровнем энтропии, а не как правдивый след взаимодействия, имевшего место в прошлом: с точки зрения статистики гораздо более вероятно, что современные состояния с низкой энтропией являются только случайными флуктуациями во временной последовательности состояний непрерывно замкнутой системы, а не *закономерными* преемниками реальных состояний с еще более низкой энтропией. Однако современные состояния системы с низким уровнем энтропии не могут свидетельствовать о близком прошлом системы, если при этом нельзя предположить, что они непосредственно вытекают из специфических antecedентов и, следовательно, представляют правдивое доказательство существования этих antecedентов в близком прошлом. Поэтому соображения Вейцзекера наводят на мысль о том, что наша уверенность в возможности сделать вывод о прошлом *на основе термодинамики* является безосновательной в силу приговора, выносимого *H-теоремой*, согласно которой энтропийное поведение единственной непрерывно замкнутой системы является *симметричным* во времени! Все же было бы серьезной ошибкой отказаться от нашей обычной практики делать выводы о ближайшем

¹ C. F. von Weizsäcker, Der zweite Hauptsatz und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft, «Annalen der Physik», Bd. XXXVI (1939), S. 281.

прошлом из современных состояний с низким уровнем энтропии и не интерпретировать больше эти следы как результаты взаимодействия с внешними факторами. Ибо наше предположение о том, что состояние с низким уровнем энтропии, в котором мы застали систему, обязано своим существованием незамкнутости системы в прошлом или ее взаимодействию с внешней средой, базируется на *иных* основаниях, *несостоятельных* с точки зрения статистики: на предположениях о том, что (i) система, которая оставалась замкнутой в течение *очень долгого* времени, не могла бы теперь находиться в состоянии с низким уровнем энтропии или что (ii) энтропия непрерывно замкнутой системы никогда со временем не уменьшается. В самом деле, мы еще увидим, что статистика пространственных ансамблей *сетвящихся* систем, о которой мы ранее вскользь упоминали, обеспечивает устойчивый эмпирический базис для наших выводов о прошлом, опирающихся на термодинамику. Существование этого эмпирического базиса, равно как и собственные внутренние трудности, опрокинули предложенное фон Вейцекером субъективистское подтверждение а ригорі наших выводов относительно прошлого. Это подтверждение обосновывалось ссылками на трансцендентальные условия всякого возможного опыта, которые раскрывались в данной ситуации с помощью кантовского метода предположений.

2. Решающее значение для ответа на вопрос, существует ли *энтропийная* основа анизотропии времени, имеет то, что изменение энтропии непрерывно замкнутой системы симметрично во времени, что, по-видимому, наводит на мысль об отрицательном ответе. Если бы мы имели дело с *постоянно* замкнутой системой, статистическая механика привела бы нас к следующим фундаментальным результатам: во-первых, нельзя согласиться с Эддингтоном, что из двух данных состояний более ранним является то, которое характеризуется более низким уровнем энтропии, так как состояние с более высоким уровнем энтропии будет *предшествовать* состоянию с более низким уровнем не менее часто, чем *следовать* за ним¹, и, во-вторых, не существует

¹ См.: Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 148—160. Следует напомнить, что система может находиться в том же самом макросостоянии в различные моменты времени t и t' и, следовательно, обладать той же самой энтропией в t и t' , тогда как лежащие в его основе микросостояния будут в эти моменты времени *различными*.

противоречия между утверждениями об относительно больших вероятностях в H -теореме Больцмана и утверждениями о равенстве абсолютных вероятностей в возражениях обратимости и периодичности, однако вышеупомянутая временная симметрия результатов статистики, на которой основываются эти возражения, решительно показывает, что на основе энтропийной эволюции единственной постоянно замкнутой системы нельзя было бы приписать времени никакой всеобщей анизотропии. Следовательно, даже если вселенная в целом характеризуется как система с определенной энтропией (что не имеет силы для вселенной, бесконечной в пространстве, как это мы увидим позднее в данной главе), ее энтропийное поведение не может обуславливать какую-либо всеобщую анизотропию времени. Попытка найти термодинамическую основу анизотропии времени была предпринята Максом Борном, который отказывался признавать обратимость элементарных процессов¹. Отметив, что больцманово усреднение является следствием

¹ M. B o r n, *Natural Philosophy of Cause and Chance*, Oxford: Oxford University Press, 1944, pp. 59, 71—73, 109—114. В обзоре этой работы, выполненном Бергманом («*Philosophy of Science*», Vol. XVII [1950]), последний отмечает, что точка зрения Борна может быть передана более ясно в утверждении, что «в известном смысле статистическая механика не является механикой. Если, применяя ее, скажем, к газу, делают предсказания от одного вероятностного распределения к другим, то тем самым обходят молчанием идею орбит, а следовательно, имеют дело с «частицами» только в слабом смысле, используя при этом теорию, фундаментальные сущности которой обладают формальными свойствами пространственных координат и импульсов».

С другой стороны, Уайт высказывает мысль, что обратимость фундаментальных процессов может быть преодолена в будущей физической теории. Он говорит: «Мы отбросим долгую борьбу вокруг вопроса „как возникнет необратимость, если обратимы фундаментальные законы?“ и зададимся вопросом „если законы имеют однонаправленный характер, то при каких... условиях их обратимое выражение дает полезную аппроксимацию?“» (*One-way Processes in Physics and Biophysics*, «*British Journal for the Philosophy of Science*», Vol. VI [1955], p. 110). Успешное решение задачи, предложенной Уайтом, легко обеспечило бы физическую основу анизотропии времени, о которой ранее и не подозревали. Однако не следует упускать из виду, что существует такое подтверждение фундаментальной обратимости, как выводимость экспериментально подтверждаемого закона взаимности из обратимости элементарных столкновений, как показал Онзагер. См.: J. M. B l a t t, *Time Reversal*, «*Scientific American*», August 1956, pp. 107—114; R. G. S a c h s, *Can the Direction of Flow of Time Be Determined?*, «*Science*», Vol. CXL (1963), pp. 1284—1290.

нашего игнорирования реальной микроскопической ситуации, он утверждает, что обратимость механики заменяется необратимостью термодинамики в результате «преднамеренного отречения от требования, согласно которому в принципе судьба каждой отдельной частицы определена. Вы должны нарушить законы механики, чтобы получить результат, находящийся с ней в очевидном противоречии». Следовательно, считает он, «статистическое обоснование даже на базе классической механики является вполне удовлетворительным»¹. Но именно в области элементарных процессов классическая механика должна быть заменена квантовой теорией. Поэтому Борн, пытаясь решить проблему, утверждал, что новая теория допускает частичное незнание уже на более глубоком уровне и не нуждается ни в каких «докторах» в виде конечных законов для своего «излечения», затем он предлагает вывод *H*-теоремы Больцмана из квантовомеханических принципов².

Шредингер выступил с комментариями относительно этой попытки Борна и выдвинул иное предложение. Поэтому нам придется воздержаться пока от рассмотрения статуса необратимости в квантовой механике и уделить внимание этой попытке Шредингера³. После того как будет дана оценка значения квантовой механики для решения проблемы необратимости, мы перейдем к рассмотрению того, что, на наш взгляд, представляет жизнеспособную термодинамическую основу статистической анизотропии времени.

Ссылаясь на борновскую оценку необратимости, Шредингер говорит: «По моему мнению, в этом случае, как и в некоторых других, «новые доктрины», появившиеся в 1925—1926 годах, скорее затемнили разум, нежели прояснили его»⁴. Его предложение подойти к проблеме без «философского займа у квантовой механики» не завершается выводом о возрастании энтропии со временем, опирающимся на какую-то в целом обратимую модель. Он отрицает подобный подход на том основании, что нельзя придумать модель, достаточно общую, чтобы она охватывала все физические

¹ M. B o r n, Natural Philosophy of Cause and Chance, pp. 72—73.

² Ibid., pp. 110, 113—114.

³ E. S c h r ö d i n g e r, Irreversibility, «Proceedings of the Royal Irish Academy», Vol. LIII (1950), Sec. A, p. 189; «The Spirit of Science», в: J. C a m b e l l (ed.), Spirit of Nature, New York: Pantheon Books, 1954, pp. 317—341.

⁴ E. S c h r ö d i n g e r, Irreversibility, p. 189.

ситуации и была бы поэтому применима во всех будущих теориях. Он также не хочет ограничивать себя опровержением аргументов, направленных против бальцмановой частной обратимой модели газа, макроповедение которого необратимо¹. Вместо вывода необратимости Шредингер предлагает «переформулировать законы термодинамической необратимости, а значит, и некоторые утверждения термодинамики таким образом, чтобы логическое противоречие в любом выводе этих законов из анализа поведения обратимых моделей оказалось снятым раз и навсегда»².

Для выполнения этой программы он принимает в расчет следующее обстоятельство: если в течение периода всеобщего возрастания или уменьшения энтропии система разделяется на две подсистемы, изолированные друг от друга, то соответствующие энтропии последних будут в обеих системах либо возрастать (за исключением небольших флуктуаций), либо уменьшаться. И вместо одной-единственной изолированной системы он рассматривает по крайней мере две системы, именуемые 1 и 2, временно изолированные от остальной вселенной на период, не слишком превышающий возраст нашей галактики. Точнее говоря, используя временную переменную t , отношение которой к феноменологическому времени станет ясным ниже, он предполагает, что системы 1 и 2 изолированы друг от друга в период между моментами t_A и t_B , где $t_B > t_A$, и находятся в контакте в моменты $t < t_A$ и $t > t_B$. Обозначив энтропию системы 1 в момент времени t_A как S_{1A} и подобным же образом энтропию другого состояния, Шредингер формулирует затем закон энтропии в следующем виде:

$$(S_{1B} - S_{1A})(S_{2B} - S_{2A}) \geq 0.$$

Поскольку этот закон всегда применим к парам систем, имеющим общее происхождение, произведение разностей значений энтропии, записанное в нем, определяет направление арифметического знака неравенства даже в том случае, если эти разности имеют отрицательное значение.

Может ли квантовомеханический подход Борна или отличный от него подход Шредингера выявить основу анизотропии времени? Мы видели, что Борн придерживается

¹ Борн («Natural Philosophy of Cause and Chance», p. 59) указывает, что H -теорема до сих пор не доказана для случаев, отличных от бальцмановой модели газа.

² E. Schrödinger, Irreversibility, p. 191.

той точки зрения, что, поскольку вероятность *ab initio* (с самого начала) входит в квантовую механику фундаментальным образом, вывод о вероятностной макроскопической необратимости, предлагаемый *H*-теоремой, вполне законен и не боится обвинений в том, что он зависит от дополнительных вероятностных предположений, чуждых обратимым динамическим уравнениям. Однако против аргументации Борна можно выдвинуть ряд весьма существенных замечаний. Для того чтобы сформулировать эти замечания, мы отметим прежде всего требования, предъявляемые квантовомеханической аналогией классических условий к обратимости изменений замкнутой системы. О поведении системы *N* можно сказать, что оно обратное поведению системы *M* в том случае, если в момент времени *t* она характеризуется точно такой же степенью вероятностей определенных значений координат и импульсов, но с обратным знаком и точно такими же ожидаемыми значениями любых функций координат и обратных импульсов, которые были бы характерны для системы *M* в момент $-t$. Теперь, ссылаясь на уравнение Шредингера, описывающее изменение во времени изолированной (консервативной) квантовомеханической системы, можно показать, что такая система удовлетворяет всем этим трем условиям¹. Уравнение Шредингера для одной свободной частицы в данном случае имеет вид

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} = \frac{4\pi m}{ih} \frac{\partial \Psi}{\partial t}, \text{ где } i \equiv \sqrt{-1}$$

и относится формально, по-видимому, к тому же классу, что и уравнение диффузии, которое мы рассматривали раньше. Однако в силу того, что в уравнении Шредингера вместо вещественной константы стоит мнимая константа, это уравнение описывает *обратимое* колебание, тогда как уравнение диффузии описывает *необратимое* выравнивание².

Какой же физический смысл имеет чисто формальная обратимость уравнения Шредингера? Мы сталкиваемся здесь не с классической обратимостью самих элементарных

¹ См.: R. C. Tolman, The Principles of Statistical Mechanics, pp. 396—399, а также: Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 275—280.

² См.: А.Зоммерфельд, Дифференциальные уравнения в частных производных физики, ИЛ, М., 1950, стр. 54—55.

процессов, а с *двухсторонним* переходом между двумя системами распределения *вероятностей* измеримых величин. Если природа допускает существование такой системы, которая характеризуется функцией состояния Ψ' и соответствующей системой распределений вероятностей s' в момент времени t_1 , и эта система эволюционирует таким образом, что в момент времени t_2 достигает состояния, описываемого функцией Ψ'' и соответствующей системой s'' распределения вероятностей, то в таком случае она допускает также обратный переход от s'' в момент t_1 к s' в момент t_2 . Поэтому Ватанабе удалось доказать, что вывод Борна о монотонном возрастании энтропии со временем на основании фундаментальных принципов квантовой механики столь же уязвим в отношении возражения обратимости Лошмидта, как и соответствующий классический вывод². Этим и определяется несостоятельность ссылок Борна на недетерминистический характер фундаментальных принципов квантовой механики, что становится очевидным в свете следующего высказывания Розенфельда:

Введение квантового описания элементарных составляющих в качестве основного предположения вместо классической картины не вносит ни малейшего различия в фундаментальную структуру термодинамики, ибо квантовые законы точно так же, как и классические, являются обратимыми относительно времени, и проблема установления макроскопической необратимости путем учета статистического элемента, включенного в понятие макроскопического наблюдения, остается прежней и вновь решается эргодической теоремой. Проблема затемняется тем фактом, что сама квантовая теория в отличие от классической вводит элемент статистики на микроскопическом уровне; и поэтому иногда ошибочно утверждают, что именно элементарная квантовая статистика является основой макроскопической необратимости. На самом же деле мы имеем здесь два совершенно различных статистических свойства, которые не только логически независимы друг от друга, но и с физической точки зрения не оказывают друг на друга никакого влияния.

¹ См.: O. Costa de Beauregard, Complémentarité et Relativité, «Revue Philosophique», Vol. CXLV (1955), pp. 397—400.

² S. W a t a n a b e, Réversibilité contre Irréversibilité en Physique Quantique, «Louis de Broglie Physicien et Penseur», Paris: Albin Michel, 1953, p. 393. См. также более раннюю работу этого автора «Le Deuxième Théorème de la Thermodynamique et la Mécanique Ondulatoire» (Paris: Hermann & Cie., 1935, esp. Chapter iv, Sec. 3), где он показывает, что, подобно ситуации с механикой Ньютона, обосновать необратимую термодинамику с помощью квантовой механики можно только в том случае, если дополнить ее фундаментальные динамические принципы еще одним постулатом, имеющим явно статистический характер.

Вопрос, является ли элементарный закон изменения детерминистическим (как в классической физике) или статистическим (как в квантовой теории), по существу, не имеет никакого отношения к эргодической теореме¹.

Нужно отметить, что при выяснении физического смысла формальной обратимости временного уравнения Шредингера мы говорили только о двухсторонних переходах *от настоящих состояний к будущим* и не делали никаких утверждений о выводах из настоящего состояния относительно значений величин, которые могли быть нами получены в гипотетических измерениях *прошлого*, как если бы мы выполнили их ранее. Для этого преднамеренного упущения имеется очень важное основание, и оно состоит в отсутствии изоморфизма между классической обратимостью и ее квантовомеханической аналогией. Согласно ортодоксальной версии квантовой механики, взаимодействие между наблюдаемой системой и измерительной установкой прерывным и необратимым образом *изменяет* Ψ -функцию, характеризующую систему до измерения, накладывая случайный фазовый фактор на эту Ψ -функцию, и это прерывное изменение в Ψ не определяется уравнением Шредингера. Таким образом, когда наблюдаемая квантовомеханическая система связывается в нечто единое с макроскопической системой, описываемой классическим образом, функция данного состояния, полученная из измерений собственных значений наблюдаемых, может быть использована в уравнении Шредингера для определения будущих, но не прошлых значений Ψ . Следовательно, необратимое изменение Ψ -функции, преобладающее до процесса измерения, с помощью акта измерения (то есть *необратимых* изменений, имеющих место как в наблюдаемой физической системе, так и в макроскопическом измерительном устройстве, когда последнее обеспечивает получение информации в виде наблюдаемых данных) вводится в отличие от классической механики и электродинамики в квантовую теорию (ортодоксальная версия) как ее неотъемлемая часть².

¹ L. Rosenfeld, On the Foundations of Statistical Thermodynamics, «Acta Physica Polonica», Vol. XIV (1955), p. 9; «Questions of Irreversibility and Ergodicity», в: P. Caldirola (ed.), Ergodic Theories, New York: Academic Press, 1961, pp. 1—20. G. Ludwig, Zum Ergodensatz und zum Begriff der makroskopischen Observablen, I, «Zeitschrift für Physik», Bd. CL (1958), S. 346.

² Подробности относительно необратимости процесса измерения (metrogenic irreversibility) в квантовой механике даны в книге фон Неймана «Математические основы квантовой механики» («Нау-

Мы можем теперь понять аргументацию Ланде, если под обратимостью понимать существование «зеркального отражения» во времени физических процессов, причем такого, что если сравнение происходит между начальным, промежуточным и конечным состояниями исходного процесса и обратного ему, то было бы неверным считать, что временное уравнение Шредингера подтверждает якобы обратимость элементарных квантовомеханических процессов. Для этого имеются основания: во-первых, действительные состояния определяются путем индивидуальных проверок (например, энергии или координат состояния), тогда как Ψ выражает не состояние, а *статистическую связь* между двумя состояниями, и, во-вторых, временное уравнение Шредингера «не описывает процесс от начального до конечного состояния с помощью промежуточных [измеряемых] состояний, которые действительно следуют друг за другом»¹. Однако в другом месте² Ланде отмечает, что *возрастание энтропии как результат процесса измерения*

ка», М., 1964, стр. 266, 281—293); см. также: S. W a t a n a b e, «Prediction and Retrodiction», p. 179. См. также очерк Ваганаве для юбилейного сборника в честь де Бройля «Réversibilité contre Irréversibilité en Physique Quantique», p. 389; Д. Б о м, Квантовая теория, «Наука», М., 1965, глава 22; S. W a t a n a b e, Le Concept de Temps en Physique Moderne et la Durée Pure de Bergson, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. LVI (1951), pp. 134—135. Рейхенбах не обратил внимания на необратимость процесса измерения в квантовой механике в своей теории направления времени (см.: «Направление времени», глава 24; «Les Fondements Logiques de la Mécanique des Quanta», «Annales de l'Institut Henri Poincaré», Vol. XIII (1953), pp. 148—154).

В своей статье «Философские проблемы, связанные с установлением смысла процесса измерения в физике» («Philosophy of Science», Vol. XXV, [1958]), Маргенау вступил в спор с «ортодоксальной» концепцией процесса измерения и редукции волнового пакета. Он отрицает необходимость связывания с процессом измерения прерывного характера изменений Ψ -функции, поскольку они не подчиняются уравнению Шредингера. Согласно этой «неортодоксальной» точке зрения, соответственно нужно пересмотреть и утверждения, выдвинутые выше на основе «ортодоксальной» версии. См. также: Н. М а р г е н а у, Measurements and Quantum States, «Philosophy of Science», Vol. XXX (1963), p. 1—16.

¹ А. Л а н д е, The Logic of Quanta, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VI (1956), p. 300, esp. pp. 305—307 and 311.

² А. Л а н д е, Wellenmechanik und Irreversibilität, «Physikalische Blätter», Bd. XIII (1957), S. 312—314. Общее обсуждение этой проблемы см. в: М. М. Я а н а с е, «Reversibilität und Irreversibilität in der Physik», «Annals of the Japan Association for Philosophy of Science», Vol. I (1957), pp. 131—149.

в квантовой механике является только статистическим и имеет следующий смысл: в действительности значения энтропии, полученные на основании последовательных проверок, будут колебаться вверх и вниз, как и классические значения энтропии на кривой Эренфеста.

Нашей оценке возможности определить анизотропию макровремени на основе необратимости процесса измерения в квантовой механике должно предшествовать рассмотрение эпистемологического статуса этой необратимости.

Следуя положениям философского идеализма, Ватанабе ошибочно приравнивает наблюдателя как учетчика физически регистрируемых наблюдательных данных наблюдателю как организму, *обладающему сознанием*. Затем он делает вывод, что необратимость процесса измерения «решительно» доказывает, что «в физике не существует никакого привилегированного направления времени и что если кто-нибудь признает уникальное направление эволюции физических явлений, то это будет только проекцией течения нашего психического времени... Возрастание энтропии не является свойством внешнего мира, предоставленного самому себе, -но есть результат союза субъекта и объекта»¹. Трактую последовательность, внутренне присущую психологическому времени, как автономную и как *sui generis* (в своем роде), он тем не менее допускает, что однообразие психологических направлений времени среди различных живых организмов требует объяснения, ибо оно слишком замечательно, чтобы быть случайным. Однако он ищет объяснение в русле весьма спорной концепции Бергсона, согласно которой процессы жизни подчиняются особым принципам². В своей психической интерпретации

¹ S. W a t a n a b e, Le Concept de Temps en Physique Moderne et la Durée Pure de Bergson, pp. 134—136. См. также статью этого автора в юбилейном сборнике в честь де Бройля «Réversibilité contre Irréversibilité en Physique Quantique» (pp. 385, 392, 394).

² Подробное обсуждение роли физической необратимости в биологических процессах см. в: H. F. B l u m, Time's Arrow and Evolution (2nd edition; Princeton: Princeton University Press, 1955); Э. Ш р е д и н г е р, Что такое жизнь с точки зрения физики?, М., 1947; R. O. D a v i e s, Irreversible Changes: New Thermodynamics from Old, «Science News» (May 1953), № 28. При попытке доказать автономию живых процессов нельзя опираться на примеры понижения энтропии в человеческом теле. Ибо поскольку это тело представляет собой открытую систему, энтропия может в нем уменьшаться в полном согласии со вторым началом термодинамики даже в его *нестатистической* интерпретации.

необратимости процесса измерения в квантовой механике Ватанабе молчаливо предполагает в качестве решающей предпосылки своей аргументации традиционно идеалистическую характеристику статуса таких материальных в обычном смысле объектов, как описываемые классическим образом части аппаратуры, так или иначе используемой во всех квантовомеханических измерениях. Однако эта идеалистическая предпосылка совершенно неубедительна, и имеются все основания, игнорируя ее, рассматривать взаимодействие между физическими системами и наблюдающими устройствами, используемыми в квантовой механике, только как взаимодействие физической материи, лишенной каких-либо психологических ингредиентов. Ибо, как это объяснил еще фон Нейман¹, а также Людвиг², требование учета возмущений, вызываемых измерениями и наблюдениями, может быть вполне адекватно выполнено в квантовой механике без включения в анализ ссылок на глаза или тело наблюдателя-человека, не говоря уже о потоке его сознания. Относительно макроскопической системы, которая подвергается необратимым изменениям в ходе регистрации результатов микроскопических измерений, Людвиг указывает, что восприятие показаний приборов субъектом, обладающим сознанием, в принципе не имеет никакого значения. Он говорит: «В принципе вовсе не нужно, чтобы существовал физик [то есть наблюдатель-человек], который создает аппаратуру с целью измерения. Это может быть также система, с которой, по сути дела, и сталкивается микроскопический объект в течение естественного хода событий»³. Таким образом, коль скоро речь идет о роли наблюдателя-человека как существа, *обладающего сознани-*

¹ Ф о н Н е й м а н, Математические основы квантовой механики, стр. 261—262, 293—305, особенно 293—295. См. также: Д. Б о м, Квантовая теория, «Наука» М., 1965 стр. 669, 670—674, 692—702.

² G. L u d w i g, Der Messprozess, «Zeitschrift für Physik», Bd. CXXXV (1953), S. 483, 486. См. также его: «Die Grundlagen der Quantenmechanik», Berlin, 1954, S. 142—159, 178—182; «Die Stellung des Subjekts in der Quantentheorie», в: «Veritas, Justitia, Libertas» (юбилейный сборник к 200-летию Колумбийского университета, Berlin: Colloquium Verlag, 1954, S. 261—271). См. также: H. R e i c h e n b a c h, Philosophical Foundations of Quantum Mechanics, Berkeley: University of California Press, 1948, pp. 15ff, и его же: «Направление времени», стр. 295—297.

³ G. L u d w i g, Der Messprozess, «Zeitschrift für Physik», S. 486.

ем, то нет никакого различия между квантовой механикой и классической физикой.

Хотя квантовая необратимость является, по сути дела, физической, а квантовый мир не разрешает нам приписывать некоторые виды физических свойств физической системе в отрыве от взаимодействия этой системы со специфическим измерительным устройством, все же необратимость нашего обычного окружения не может рассматриваться как следствие только необратимости процесса измерения в квантовой механике. Принцип дополнительности Бора следует учитывать в связи с его же идей, подчеркнутой им в принципе соответствия; измерительные устройства, составляющие эпистемологический базис квантовой механики, могут быть описаны только с помощью принципов классической физики. Действительная необратимость нашего макроокружения сказывается в такой ситуации, где постоянная Планка h может не приниматься в расчет по причине ее малости и где вполне законна классическая точка зрения, согласно которой о физической системе можно сказать, что она обладает определенными физическими свойствами независимо от какой-либо связи с измерительным инструментом¹.

Мы можем поэтому присоединиться к *отрицанию* Шредингером возможности использовать необратимость квантовомеханических измерений как основу для объяснения феноменологической (макро-)необратимости нашего окружения. Он говорит: «Конечно, система продолжает существовать и испытывать необратимые изменения, и ее энтропия будет возрастать в промежутке между двумя наблюдениями. Наблюдения, которые мы могли бы сделать в этом промежутке, не могут, по существу, определять ее поведение»².

¹ Интересное обсуждение условий, при которых возможно применение классического подхода, см. в книге Л. Бриллюэна «Наука и теория информации» (М., 1960), стр. 303—306.

² E. S h r ö d i n g e r, Irreversibility, p. 190. Анализ Уилера — Фейнмана — Штюкельберга порождения пар частиц в квантовой электродинамике (см.: H. M a r g e n a u, Can Time Flow Backwards?, «Philosophy of Science», Vol. XXI [1954], p. 79) еще менее полезен для определения основы анизотропии времени, чем квантовая необратимость, поскольку он содержит неясность даже относительно тех свойств временного порядка, которые определяются обратимыми макропроцессами (см.: Г. Р е й х е н б а х, Направление времени, стр. 348—357 и его же «Les Fondements Logiques de la Mécanique des Quanta», pp. 150—153). См. также: С. W. В е -

Если доказано, что квантовая механика не обеспечивает требуемого объяснения временной анизотропии нашего макроокружения в его «текущем» неравновесном состоянии, то нельзя ли здесь добиться успеха, исходя из неквантового объяснения, предложенного Шредингером? Он не делает никаких явных попыток вывести необратимость. Однако он говорит, что если по крайней мере одна из разностей значений энтропии в его формулировке принципа Клаузиуса положительна, то это и есть параметрическое время t , соответствующее феноменологическому времени, и, напротив, если по крайней мере одна из разностей отрицательна, тогда феноменологическому времени соответствует $-t$. Идея, которой, очевидно, руководствовался Шредингер и согласно которой попытка охарактеризовать феноменологическую анизотропию времени эмпирическим путем, не уклоняясь от рассмотрения возражений обратимости и периодичности, может быть успешна только в том случае, если рассматривать закон энтропии как утверждение относительно по крайней мере двух временно замкнутых систем, была независимо от Шредингера развита Рейхенбахом. И рациональное зерно — но только рациональное зерно — в рейхенбаховском варианте этой идеи, как представляется нам, позволяет обосновать энтропийный базис статистической анизотропии физического времени. Будучи уверенными в необходимости значительной модификации рейхенбаховского объяснения, с тем чтобы оно приобрело более удовлетворительный вид, мы постараемся прежде всего изложить, что в нем, по нашему мнению, нуждается в уточнении.

В реальном физическом опыте мы сталкиваемся с возрастанием энтропии в квазиизолированных системах в подавляющем большинстве случаев намного чаще, нежели с соответствующим уменьшением: если бы 10 000 человек сели вместе обедать и каждый из них налил сливки в чашку с черным кофе, то можно с уверенностью держать пари, что сливки во всех случаях перемешаются с кофе и никто из обедающих не сообщит о последующем их разделении за обычный интервал времени, то есть до того, как кофе будет выпит. Этот вид явлений асимметричного возрастания энтропии со временем совместим со статистической формой закона энтропии для непрерывно замкнутой системы,

r e n d a, Determination of Past by Future Events, «Philosophy of Science», Vol. XIV (1947), p. 13.

поскольку мы ограничиваемся обычным интервалом времени. Может ли этот вид явлений возрастания энтропии обеспечить анизотропию времени по крайней мере для нашей галактической системы в течение данной эпохи? Мы сейчас покажем, что вывод о возможности таких явлений, рассматриваемый как физический базис статистической анизотропии времени, является правильным. Для этого мы должны сначала описать определенные свойства физического мира, которые в рамках теории статистической механики имеют характер начальных или граничных условий. Выведенная таким образом энтропийная основа статистической анизотропии времени будет тогда вытекать из принципов статистической механики, относящихся к этим де-факто условиям.

Природа вокруг нас обнаруживает поразительное неравенство температур и другие неоднородности. В самом деле, мы живем благодаря ядерному превращению солнечных запасов водорода в гелий, которое является источником воспринимаемого нами солнечного излучения. Рассеивая ресурсы водорода в виде солнечного излучения, солнце может нагреть камень, лежащий на покрытой снегом поверхности земли. Ночью камень не освещается, однако температура его все еще остается более высокой, чем температура окружающего снега. Следовательно, теплый камень на холодном снегу представляет собой квазиизолированную подсистему либо нашей галактики, либо солнечной системы. И относительно низкая энтропия этой подсистемы была приобретена за счет расходования запасов водорода на солнце в процессе рассеяния. Следовательно, если существует некоторая квазизамкнутая система, включающая в себя солнце и землю, то ответвление нашей подсистемы от этой более общей системы в состояние с более низкой энтропией в момент захода солнца подразумевает возрастание энтропии в этой более общей системе. За ночь тепло камня будет передано снегу, и тем самым энтропия в системе камень — снег возрастает. На следующее утро в момент восхода солнца подсистема камень — снег вновь сольется с более общей солнечной системой. Таким образом, существуют подсистемы, которые, ответвляясь от более общей солнечной или галактической системы в состояние с относительно низкой энтропией, остаются квазизамкнутыми в течение ограниченного периода времени и затем вновь сливаются с более общей системой, от которой они в свое время отде-

лились. Следуя Рейхенбаху, мы будем пользоваться для обозначения такого вида подсистем термином «ответвляющаяся система»¹.

Ветвящиеся системы образуются не только в естественном ходе событий, но также и благодаря вмешательству человека: когда кубик льда кладется в стакан с клюшоном, который затем накрывается в гигиенических целях, то образуется такая подсистема. Предшествующее этому образованию кубика льда сопровождалось возрастанием энтропии за счет рассеяния электроэнергии в некоторой более широкой квазизамкнутой системе, частью которой является холодильник, приводимый в действие электричеством. В то время как кубик льда размещивается в подсистеме, которую представляет собой закрытый стакан, энтропия этой квазизамкнутой системы вновь возрастает. Однако она вновь сливается с другой системой, когда охлажденный клюшон выпивают. То же происходит и с закрытой комнатой, которая сначала закрывается, а потом нагревается за счет сжигания дров.

Таким образом, наше окружение изобилует ответвляющимися системами, состояния которых с первоначально низкой энтропией являются результатом их более раннего соединения или взаимодействия с внешними силами того или иного вида. Это довольно постоянное и вездесущее образование ветвящихся систем с первоначально относительно низкой энтропией есть результат взаимодействия и часто происходит за счет возрастания энтропии в некоторой более обширной квазизамкнутой системе, из которой выделяется ответвляющаяся система. И де-факто, то есть номологически случайное, образование этих систем по крайней мере для нашей области вселенной в современную эпоху приводит к следующему *фундаментальному выводу*: характер поведения подавляющего большинства квазизамкнутых систем, энтропия которых относительно низка и которые как будто бы изолированы, отличен от характера поведения систем, непрерывно замкнутых в настоящем и остающихся таковыми в будущем. Они обнаруживают характер поведения, свойственный ветвящимся системам.

Следовательно, после того, как мы натолкнулись на квазизамкнутую систему, находящуюся в состоянии с довольно низким уровнем энтропии, мы должны знать, что с подав-

¹ См.: Рейхенбах, Направление времени, стр. 162.

ляющей вероятностью произошло, видимо, следующее: система не была изолирована в течение миллионов и миллионов лет, не *произошло* также и того, что она оказалась в одном из нечастых, но всегда повторяющихся состояний с низким уровнем энтропии, которые обнаруживаются в поведении непрерывно замкнутых систем. Напротив, видимо, наша система не так давно ответвилась после взаимодействия с внешними силами. Предположим, например, что некий американский геолог блуждает в поисках оазиса в каком-то безлюдном районе Сахары и находит кусок слипшегося песка в форме бутылки из-под кока-колы. Тогда он сделает вывод, что, вероятнее всего, какая-то подобная ему личность совсем недавно вступила во взаимодействие с этим участком пустыни и оставила на нем след, похожий на бутылку из-под кока-колы. Этот геолог едва ли станет воображать, что он оказался свидетелем одной из тех конфигураций, обладающих относительно низким уровнем энтропии, в которых (при условии действительной изоляции данного участка пустыни от остального мира) самопроизвольно, но очень редко оказываются песчинки, под действием ветра в течение миллионов и миллионов лет сбивающиеся в подобную форму.

Существует еще одно свойство ветвящихся систем, которое является свойством де-факто и представляет для нас интерес, ибо оказывается включенным в те асимметричные во временном отношении закономерности, которые мы можем обнаружить в энтропийном поведении этих систем. Это свойство заключается в *беспорядочности* (randomness), существующей как *номологически случайный факт* в распределении микросостояний W_1 , относящихся к изначальному макросостоянию пространственного ансамбля ветвящихся систем, каждая из которых характеризуется одной и той же энтропией $S_1 = k \log W_1$. Для любого класса *подобных* ветвящихся систем, где каждая система обладает *одинаковым* начальным значением энтропии S_1 , микросостояния, из которых составляются идентичные начальные макросостояния, обладающие энтропией S_1 , являются *случайными наборами* (random samples) множества значений всех микросостояний W_1 , обеспечивающих макросостояние с энтропией S_1 ¹. Это свойство беспорядочности микросостояний, обнаруживаемое со стороны начальных состояний участ

¹ См.: R. Tolman, The Principles of Statistical Mechanics, p. 149.

ников *пространственного* ансамбля, нужно будет понимать как дополнение к следующему свойству микросостояний одной-единственной непрерывно замкнутой системы: среди микросостояний W_1 , обнаруживаемых одной-единственной непрерывно замкнутой системой, относящихся к *временному* ансамблю, появление состояний с одинаковой энтропией $S_1 = k \log W_1$ оказывается равновероятным.

Теперь мы можем установить статистические регулярности, которые получаются как следствие только что изложенных де-факто свойств ветвящихся систем, если связать их с принципами статистической механики. Эти регулярности, приводящие, как мы увидим, к *асимметричному относительно времени* поведению энтропии *ветвящихся* систем, распадаются на следующие две большие группы¹.

Группа 1. В большинстве пространственных ансамблей квазизамкнутых ветвящихся систем, каждая из которых первоначально находится в неравновесном состоянии или в состоянии с относительно *низкой* энтропией, большинство ветвящихся систем ансамбля будет иметь более *высокий* уровень энтропии *после* данного момента t . Однако эти ветвящиеся системы просто не являются квазизамкнутыми в отличие от систем, которые существовали ранее момента t , когда появились первоначальные состояния данных систем, то есть когда они превратились в ответвившиеся. Следовательно, до существования в качестве ветвящихся систем эти системы фактически *не* обнаруживали состояний с высокой энтропией и в *более ранние* моменты, чем t , когда они были замкнутыми. Таким образом, пространственные ансамбли ветвящихся систем *не* воспроизводят энтропийной симметрии времени одной-единственной непрерывно замкнутой системы. И каково бы ни было поведение компонентов ветвящихся систем до «рождения» последних, оно (это поведение) не имеет отношения к энтропийным свойствам ветвящихся систем, как таковых.

Возрастание энтропии после момента t в подавляющем большинстве ветвящихся систем, первоначально обладавших низкой энтропией, что подтверждается наблюдениями, можно легко понять. Для этого следует обратить внимание на следующее свойство *временного* ансамбля значений

¹ См.: R. Fürth, Prinzipien der Statistik, S. 270 und 192—193. Однако предпоследнее предложение на стр. 270 не следует принимать в расчет, поскольку оно внутренне противоречиво, так как несовместимо с остальными рассуждениями на этой странице.

энтропии одной-единственной замкнутой системы и затем отметить свойство пространственного ансамбля ветвящихся систем: поскольку *большие* уклоны энтропии или значительные ее понижения *гораздо менее* вероятны (часты), чем умеренные понижения, *подавляющее большинство* неравновесных состояний непрерывно замкнутой системы расположено либо около, либо в непосредственной временной окрестности самых *низких* точек *спадов* энтропийной кривой. Короче говоря, подавляющее большинство состояний с *субмаксимальной* энтропией находится по времени на *участках подъема* кривой, описывающей поведение одной системы, или очень близко к ним. Если применить эти результаты к рассмотрению пространственного ансамбля ветвящихся систем, первоначальные состояния которых обнаруживают упомянутое ранее свойство *беспорядочности*, то получим следующее: среди первоначальных состояний этих систем, характеризующихся низкой энтропией, подавляющее большинство лежит в самых нижних точках спадов кривой энтропии одной системы или непосредственно в их временной окрестности, то есть там, где начинается подъем.

Группа 2. Временная асимметрия, имеющая решающее значение в статистике временной эволюции ветвящихся систем, вытекает из того, что в большинстве пространственных ансамблей ветвящихся систем, каждый из членов которого первоначально находится в состоянии *равновесия* или очень *высокой* энтропии, подавляющее большинство этих систем, составляющих ансамбль, *не будет* обладать более *низкой* энтропией *спустя* конечное время t , а будет еще оставаться в состоянии равновесия. Ибо упомянутое выше свойство беспорядочности гарантирует, что подавляющее большинство тех ветвящихся систем, первоначальные состояния которых являются равновесными и характеризуются максимальными значениями энтропии, *полностью лежит где-то в пределах* «плато» кривой энтропии для одной системы, а не где-то у края «плато», откуда начинается *уменьшение* энтропии.

Хотя решающее значение отмеченной выше асимметрии и допускалось Мельбергом¹, он все же отклонял ее как выражающую «только фактическое различие между двумя соответствующими значениями вероятности». Однако асимметрия, зависящая от номологически случайных гра-

¹ H. M e h l b e r g, Physical Laws and Time's Arrow, p. 129.

ничных де-факто условий, есть такая же асимметрия, как и основывающаяся только *на законе*. Поскольку верификация нашего утверждения о наличии определенных сложных граничных условий де-факто как верификация законов имеет вообще частичный и косвенный характер, утверждение относительно асимметрии, зависящей от условий де-факто, вообще говоря, не менее надежно, чем утверждение, опирающееся всецело на закон. Следовательно, когда Мельберг¹ выступает против шредингеровского требования асимметрии и говорит, что по отношению к каждой паре ветвящихся систем, энтропия которых меняется в одинаковом направлении, «ничто» не запрещает предполагать существование другой пары замкнутых subsystem, энтропия которых меняется в противоположном направлении, то на это можно ответить следующим образом. Критические замечания Мельберга могут быть подтверждены только необоснованным отрицанием статистической асимметрии, которая сначала допускается, а затем отвергается им как «только» фактуальная. Ибо в этой ситуации именно наличие специфических граничных условий *не допускает* существования энтропийной симметрии времени.

Таким образом, мы видим, что в подавляющем большинстве ветвящихся систем либо один конец их конечной энтропийной кривой представляет собой точку с низкой, а другой — точку с высокой энтропией, либо эти концы представляют собой равновесные состояния, точно так же как и в течение всего того интервала, когда эти системы подвергаются воздействию извне. И точно так же очевидно, что статистическое распределение этих значений энтропии на временной оси таково, что подавляющее большинство ветвящихся систем обладает *одним и тем же направлением возрастания энтропии* и, следовательно, одним и тем же противоположным направлением уменьшения энтропии. Таким образом, статистика возрастания энтропии в ветвящихся системах говорит нам о том, что *в большинстве пространственных ансамблей энтропия подавляющего большинства ветвящихся систем* будет возрастать в одном из двух противоположных направлений времени и уменьшаться в другом в противоречии с временной симметрией энтропии единичной непрерывно замкнутой системы. В пределах пространственного ансамбля вероятность того, что за состо-

¹ Н. М е л б е р г, *Physical Laws and Time's Arrow*, p. 117, п. 30.

янием с низкой энтропией s в данный момент времени *последует* состояние с более высокой энтропией S в некоторый более поздний момент времени, *гораздо выше*, чем вероятность того, что состояние S будет *предшествовать* состоянию s . Таким образом, *энтропийное поведение ветвящихся систем определяет одинаковую статистическую анизотропию в подавляющем большинстве всех тех космических эпох времени, в течение которых вселенная обнаруживает необходимое неравновесие и содержит ветвящиеся системы, удовлетворяющие начальным условиям «беспорядочности».*

Теперь назовем направление возрастания энтропии *типичных представителей* космической эпохи упомянутого выше типа направлением «позже», что мы и делали с самого начала, когда только приписывали более высокие номера моментам времени в этом направлении, *не впадая при этом в иллюзию*, что мы якобы нашли источник анизотропии времени. В таком случае наши результаты, относящиеся к энтропийному поведению ветвящихся систем, показывают, что направления «раньше чем» и «позже чем» не только противоположны и приводят к возрастанию и уменьшению значений временных координат соответственно, но и статистически анизотропны в некотором объективном физическом смысле. Ибо мы уже видели ранее в этой главе, что возрастание вещественных чисел может приписываться значениям временных координат физически содержательным образом *без какого-либо обязательства относительно существования (де-факто или номологически) процессов необратимого типа.* На самом деле использование континуума вещественных чисел в качестве основы координирования времени влечет за собой анизотропию времени не больше, чем соответствующее координирование трех измерений пространства влечет за собой анизотропию этих пространственных измерений.

Следует подчеркнуть, что мы характеризуем положительное направление времени как направление возрастания энтропии в ветвящихся системах, являющихся типичными представителями всех тех эпох времени, в течение которых вселенная обнаруживает требуемое неравновесие и содержит ветвящиеся системы, удовлетворяющие начальным условиям «беспорядочности». В соответствии с этим обычное временное описание явлений флуктуации можно обосновать при помощи утверждения, что в некоторых системах энтропия *в положительном направлении времени уменьшается*, то есть обосновать ссылкой на энтропийную противоположную

направленность этих систем по сравнению с *большинством* ветвящихся систем. Этому описанию не страшно *reductio ad absurdum*, выдвинутое Бриджменом в его безуспешной попытке доказать, что анизотропия времени не может быть основана на энтропии. Именно статистика ветвящихся систем, которая делает недействительной попытку бриджменовского *reductio*, позволяет опровергнуть следующее положение Поппера, в котором он отрицает значение энтропийной статистики для анизотропии времени; несмотря на его справедливые возражения относительно первоначальной формулировки Больцмана.

Было высказано предположение (впервые самим Больцманом), что стрела времени либо по своей природе, либо на основании определения связана с возрастанием энтропии, так что энтропия не может уменьшаться во времени, поскольку это уменьшение означало бы обращение стрелы времени и, следовательно, означало бы увеличение энтропии относительно противоположного направления стрелы. Как бы мне ни импонировала смелость этой идеи, я все же считаю ее абсурдной, особенно в свете неопровержимого факта существования термодинамических флуктуаций. Следовало бы утверждать, что в рамках пространственного расположения этих флуктуаций все часы идут в обратном направлении, если смотреть на них со стороны. Но это утверждение разрушило бы саму систему динамики, на которой основывается статистическая теория. (Более того, большинство часов являются неэнтропийными системами в том смысле, что теплота, получаемая при их работе, не только не имеет существенного значения для выполняемой ими функции, но и препятствует этому.)

Я не думаю, чтобы Больцман выдвинул свое предположение после 1905 года, когда флуктуации, рассматриваемые до этого как маловероятные математически вычислимые ситуации, вдруг получили строгое доказательство благодаря физической реальности молекул. (Я имею в виду эйнштейнову теорию броуновского движения.) Поэтому статистическая теория стрелы времени представляется мне неприемлемой¹.

В противоположность Мельбергу и Попперу мы утверждаем, что энтропийное поведение ветвящихся систем приводит к *одинаковой* статистической анизотропии подавляющего большинства всех тех космических эпох времени, в течение которых вселенная обнаруживает необходимую неравномерность и содержит ветвящиеся системы, удовлетворяющие определенному начальному условию «беспорядочности». Наше требование статистической анизотропии значительно отстает от рейхенбаховской «гипотезы ветвящихся структур»² в следующем: 1) мы не предполагаем, что энтро-

¹ К. Р. Поррет, «Nature», Vol. CLXXXI (1958), p. 402.

² Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 187.

пия определяется для всей вселенной, так что вселенная в целом могла бы рассматриваться как система, энтропийная эволюция которой характеризуется статистической энтропийной кривой для непрерывно замкнутой *конечной* системы; такое предположение привело Рейхенбаха к утверждению о параллелизме в направлении возрастания энтропии вселенной и ветвящихся систем в любое время, и, следовательно, 2) мы не заключаем, как это сделал Рейхенбах, что в космическом отношении статистическая анизотропия времени является только локальной благодаря флуктуации в том смысле, что предполагаемое чередование эпох возрастания и уменьшения энтропии вселенной идет рука об руку с чередованием направления энтропии в ансамблях ветвящихся систем, связанных с соответствующими эпохами; с нашей точки зрения, последующие эпохи неравновесия могут быть в энтропийном смысле *противоположно* направленными по отношению друг к другу.

Учитывая оговорки, сделанные самим Рейхенбахом¹ относительно надежности предположений, касающихся вселенной в целом при современном состоянии космологии, остается только удивляться, почему он вообще ссылаясь на энтропию вселенной вместо того, чтобы ограничиться, как это делаем мы, гораздо более слабым предположением о существовании во вселенной состояний неравновесия. Рассматривая эту проблему с более фундаментальной точки зрения, неясно также, на каком основании Рейхенбах полагал, что он сможет примирить предположение о том, что ветвящиеся системы удовлетворяют начальным условиям «беспорядочности» в течение любой космической эпохи, когда возможно их образование (это предположение, как мы видели, состоит в том, что статистическая анизотропия *большинства* неравновесных эпох вселенной *одинакова*), со следующим выдвинутым им самим требованием чередования: «Когда мы переходим к участку спуска кривой, всегда происходящего в том же самом направлении, ответвления начинаются при состояниях с высокими значениями энтропии... и заканчиваются в точках с низкой энтропией...²». Вопреки Рейхенбаху в приведенном выше утверждении относительно выводов из постулата беспорядочности *группы 2* говорится, что в подавляющем большинстве случаев ветвящиеся систе-

¹ Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 179—185.

² Там же.

мы, возникающие из состояния равновесия (высокая энтропия), будут *оставаться* в состоянии равновесия в течение всей своей конечной эволюции, но отнюдь не будут обна- руживать в своем поведении уменьшения энтропии!

Ограничение, накладываемое на применимость понятия энтропии статистики Максвелла — Больцмана к вселенной в целом, состоит в том, что оно вообще не применимо к *пространственно бесконечной* вселенной. Если бесконечная вселенная содержит неисчислимую *бесконечность* атомов, молекул или звезд, то число комплексов \mathcal{W} становится бесконечным, так что энтропия не может быть определена, и поэтому нельзя говорить ни о ее возрастании, ни о ее уменьшении¹. А если число частиц в бесконечной вселенной *конечно*, тогда а) равновесное состояние с максимальной энтропией не может быть реализовано конечным числом частиц в фазовом пространстве с *бесконечно* большим числом ячеек, поскольку эти частицы не будут распределены *равномерно* между этими ячейками, и б) квазиэргодическая гипотеза, являющаяся, по существу, основой вероятностной метрики, этого ингредиента понятия энтропии в статистике Максвелла — Больцмана, по-видимому, ошибочна для бесконечного фазового пространства². Если бы вселенная *была конечной* и притом такой, что энтропия, определенная для нее как для целостной системы, удовлетворяла бы кривой энтропии, характеризующейся в статистической механике поведением одной системы, тогда нельзя было бы больше защищать наши утверждения о *космически всеобъемлющей статистической анизотропии времени*. Ибо мы предполагаем, что для подавляющего большинства ветвящихся систем большинства эпох энтропия возрастает в одном и том же направлении и что пространственные ансамбли ветвящихся систем образуются в течение большинства периодов неравновесия. И далее, если можно предположить, что энтропия конечной пространственно замкнутой вселенной *аддитивно*

¹ См.: К. П. Станюкович, О возрастании энтропии в бесконечной вселенной, «Доклады Академии наук СССР» (1949), том LXIX, № 6, стр. 793—796.

² О других сомнениях относительно космологической применимости понятия энтропии см.: E. A. Milne, Sir James Jeans, Cambridge: Cambridge University Press, 1952, p. 164—165; «Modern Cosmology and the Christian Idea of God», Oxford: Clarendon Press, 1952, pp. 146—150, а также Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц; Статистическая физика, «Наука», М., 1964, стр. 44—49.

зависит от энтропий составляющих ее подсистем, то в таком случае предполагаемая временная асимметрия энтропийного поведения ветвящихся систем окажется в противоречии с полной *временной симметрией* энтропийного поведения одной системы, каковой является конечная вселенная. Этот вывод, если он верен, ставит вопрос, который здесь я только хочу сформулировать: не потеряет ли справедливости для замкнутой вселенной постулат о случайном беспорядке начальных условий? Ибо в таком случае нельзя получить всеобъемлющего в космическом смысле характера анизотропии времени, который гарантируется постулатом о беспорядке. Напротив, тогда можно будет предположить такие начальные условия в ветвящихся системах, которые имеют результатом космически локальный тип анизотропии времени, предложенный Рейхенбахом, когда следующие друг за другом всеохватывающие эпохи неравновесия обладают противоположными направлениями возрастания энтропии как во всей вселенной, так и в ветвящихся системах, связанных с этими эпохами.

В девятой главе мы покажем, что наша оценка энтропийного основания анизотропии времени имеет следующие важные последствия: во-первых, она дает эмпирическое подтверждение интерпретации современных упорядоченных состояний как правдивых следов действительных событий взаимодействий прошлого; это подтверждение, как мы видели, не могло быть обеспечено энтропийным поведением одной непрерывно замкнутой системы, и, во-вторых, в девятой главе будет показано также, что она объясняет, почему положительные направления субъективного (психического) и объективного (физического) времени параллельны друг другу, подчеркивая, что само тело человека участвует в энтропийных закономерностях пространственных ансамблей физических ветвящихся систем в том смысле, что память человека, точно так же, как и чисто физические регистрирующие установки, накапливает «следы», протоколы или информацию в направлении, диктуемом статистикой физических ветвящихся систем. Вопреки концепции Ватанабе о смысле человеческого психологического времени как *sui generis* в девятой главе будет показано, что будущее направление психологического времени параллельно направлению аккумуляции следов (возрастанию информации) во взаимодействующих системах и, следовательно, параллельно направлению, определяемому положительным возрастанием энтро-

пии в ветвящихся системах. Таким образом, исследование анизотропии психологического времени покажет также, что Спиноза ошибался, когда писал Ольденбургу, что «tempus non est affectio rerum sed merus modus cogitandi» («время не есть следствие действия вещей, но чистый модус мышления»).

Мы завершили наше обсуждение вопроса о том, насколько анизотропия времени зависит от систем, для которых энтропия определена и изменяется асимметричным во времени образом. Остается обсудить, существуют ли такие виды физических процессов, которые являются неэнтропийными и которые вносят свой вклад в анизотропию времени. Мы увидим, что ответ, несомненно, должен быть утвердительным. Более того, окажется, что, подобно тому как основывающаяся на энтропии статистическая анизотропия времени не гарантировалась одними только законами, а зависела также от специфических граничных условий, неэнтропийные виды необратимости также являются таковыми де-факто, а не номологически.

Б. Существуют ли нетермодинамические основания анизотропии времени?

В серии заметок, опубликованных в журнале «Nature» в течение 1956—1958 годов, Поппер¹ изложил свой тезис о «несостоятельности широко распространенной, хотя, несомненно, не универсальной уверенности в том, что стрела времени тесно связана с законом стремления к возрастанию беспорядка (энтропии) или зависит от него» (II). А именно в своих первых трех из четырех опубликованных заметок он утверждал, что в природе существуют такие процессы, необратимость которых не зависит от их связи с возрастанием энтропии. Напротив, их необратимость является номологически неопределяемой, то есть законы природы, управляющие элементарными процессами, допускают, конечно, временное обращение этих необратимых процессов, однако сами эти процессы необратимы де-факто, поскольку спонтанная связь начальных условий, необходимая для их обращения во времени, физически почти невозможна. Отметив, что «хотя стрела времени не подразумевается фундаменталь-

¹ К. Р. Поппер, «Nature», Vol. CLXXVII (1956), p. 538; Vol. CLXXVIII (1956), p. 382; Vol. CLXXIX (1957), p. 1297; Vol. CLXXXI (1958), p. 402. Эти четыре публикации впредь при цитировании будут обозначаться как I, II, III и IV соответственно.

ными уравнениями [законами, которые управляют элементарными процессами], она тем не менее характеризует большинство их решений» (I), Поппер отвергает утверждение, что «всякий нестатистический, или «классический», механический процесс является обратимым» (IV). В четвертом своем сообщении он утверждает, что статистическое поведение энтропии физических систем не только не годится в качестве единственного физического базиса анизотропии времени, как это предполагал Больцман, но и вообще не определяет этот базис¹. Ибо, как мы видели ранее, Поппер утверждает, что если бы это было так, временное описание явлений флуктуации содержало бы разного вида нелепости.

В ответ на первые две заметки Поппера Хилл и я опубликовали сообщение², в котором высказались в поддержку утверждения Поппера о существовании неэнтропийного номологически случайного вида необратимости и обобщили это утверждение в форме экзистенциального требования.

Учитывая критические замечания Поппера (III) относительно нашего обобщения, мы попытаемся рассмотреть неэнтропийную необратимость с тем, чтобы:

- 1) дать оценку критическим замечаниям Поппера;
- 2) показать, что обобщение, сделанное в статье, написанной Хиллом и мной, имеет важное достоинство, поскольку оно свободно от ограничения, на котором Поппер основывает свое утверждение относительно номологически случайной необратимости; это ограничение накладывается требованием спонтанной взаимосвязи набора начальных условий, необходимых для осуществления временного обращения условно необратимых в этом смысле процессов;

- 3) рассмотреть значение нашей оценки утверждения Поппера в свете отрицания Мельбергом анизотропии времени³.

Независимо от Коста де Борега, который использовал эту иллюстрацию до него⁴, Поппер рассматривает большую поверхность воды в спокойном состоянии; в воду бросают

¹ Учитывая возможность ошибочных выводов из метафоры Эддингтона «стрела времени», которой пользуется Поппер, мы заменяем ее в нашей оценке точки зрения Поппера неметафорическим выражением «анизотропия времени».

² E. L. Hill and A. Grünbaum, Irreversible Processes in Physical Theory, «Nature», Vol. CLXXIX (1957), p. 1296.

³ H. Mehlberg, Physical Laws and Times Arrow.

⁴ O. C. de Beauregard, L'Irréversibilité Quantique, Phénomène Macroscopique, p. 402.

камень и тем вызывают волновое движение с затухающей амплитудой, концентрически расходящееся из точки падения камня. Поппер утверждает, что этот процесс является необратимым в том смысле, что спонтанная (IV) связь всех элементов совокупности начальных условий, необходимых для осуществления соответствующей сходящейся волны, физически невозможна; при этом спонтанная взаимосвязь понимается как связь, которая не может быть осуществлена координированным воздействием из общего центра. Номологически случайная необратимость, поскольку она основывается на описанной выше спонтанной связи, является *условной* (conditional).

Могут возразить, что утверждение о необратимости расходящейся волны, обусловленной якобы нетермодинамическими каузальными факторами, неверно. Это возражение основано на том, что статистический закон энтропии имеет отношение к подобной необратимости, поскольку уменьшение амплитуды расходящейся волны вызывается суперпозицией следующих *двух* независимых факторов: во-первых, требованием закона сохранения энергии (*первый* закон термодинамики) и, во-вторых, возрастанием энтропии в системе, по существу, замкнутой, происходящим вследствие рассеяния энергии благодаря вязкости. Конечно, *возрастание энтропии вследствие рассеяния энергии из-за вязкости является достаточным условием* (в *статистическом* смысле, как это изложено в разделе А этой главы) необратимости расходящегося волнового движения, то есть отсутствия соответствующего (вызванного самопроизвольно) сходящегося волнового движения. Однако этот факт не может умалить логическую непротиворечивость утверждения Поппера о том, что другим независимым и достаточным условием этой условной необратимости де-факто является, согласно его точке зрения, номологически случайное отсутствие спонтанного возникновения совокупности согласованных начальных условий, необходимых для получения сходящейся волны. Мы видим, что Поппер правильно указывает на необходимость *когерентности* этих начальных условий как на основу отрицания возможности *спонтанной* взаимосвязи этих условий, то есть он отрицает возможность осуществления такой взаимосвязи без предварительной координации с помощью воздействия, исходящего из центрального источника. Он говорит (III): «Только такие условия могут быть причинно реализованы, которые орга-

низованы из одного центра... причины, которые не скоррелированы из одного центра, причинно между собой не связаны и могут объединиться [то есть вызвать когерентность в форме *изотропной*, сходящейся в одну точку волны] только случайно... Вероятность такого события будет равна нулю».

Учитывая упомянутый выше *условный* характер номологической случайной необратимости Поппера, Хилл и я пришли к выводу, что было бы полезно отметить следующее¹. Действительно, в бесконечном пространстве существует важный класс процессов, *необратимость* которых, будучи 1) неэнтропийной и номологически случайной, является следовательно, такой необратимостью, которая правильно подмечена Поппером, тем не менее 2) она *не является условной*, то есть не вытекает из условия Поппера относительно спонтанности. Не имея полномочий говорить о том, что думает по этому поводу профессор Хилл, я могу высказать только свою точку зрения, а именно что, высказывая это экзистенциальное утверждение, я руководствовался следующими соображениями.

1. Поппер (II) высказал верную мысль, что вечное расширение очень разреженного газа из какого-то центра в пространственно бесконечной вселенной не подразумевает возрастания энтропии и, следовательно, де-факто необратимость этого процесса является неэнтропийной. Так как в статистике Максвелла — Больцмана для вселенной, бесконечной в пространстве, энтропия даже не определяется, гипотеза о квазиэргодичности, составляющая основу вероятностно-метрического ингредиента понятия энтропии в статистике Максвелла — Больцмана, по-видимому, *неверна* для бесконечного фазового пространства, поскольку для обоснования этой гипотезы необходимо предположить наличие *стенок* для реализации столкновений, а эти стенки отсутствуют. При отсутствии каких-либо стенок, подразумеваемых для *конечных* систем, быстро движущиеся частицы вместо того, чтобы перемещаться с медленно движущимися, равномерно заполняя пространство, скоро обгонят их и оставят позади себя на вечные времена. Кроме того, как мы уже ранее отмечали, если число частиц в бесконечной вселенной только конечно, то равновесное состояние с мак-

¹ См.: E. L. Hill and A. Grunbaum, Irreversible Processes in Physical Theory.

симулом энтропии реализовать невозможно, поскольку конечное число частиц не может быть *равномерно* распределено в фазовом пространстве с бесконечным числом ячеек. Далее, если число частиц представляет собой счетную бесконечность, то число W микроскопических комплексов в формуле $S = k \log W$ становится бесконечным и нельзя определить, возрастает энтропия или понижается. Соответствующие замечания применимы и к энтропии статистики Бозе — Эйнштейна, то есть к случаю фотонного (бозонного) газа, различные частоты (энергии) частиц которого ничем не ограничиваются и спектр их значений является бесконечным¹.

2. Хотя это и *допускается законами* механики, никакого «сжатия», которое можно было бы квалифицировать как временное обращение *вечного* «взрыва» очень разреженного газа из какого-то центра в бесконечную вселенную, не существует. Учитывая это, можно утверждать, что де-факто необратимость *вечного* «взрыва» является *безусловной*, то есть она *не зависит* от ограничивающего условия Поппера относительно *спонтанного* возникновения *когерентной* совокупности начальных условий во вселенной подобного типа. Ибо в бесконечном пространстве вообще не существует никакой возможности для *неспонтанного* возникновения когерентных начальных условий такого сжатия, характеризваемого следующими свойствами: частицы газа сходятся в одну точку после того, как они прошли через бесконечное пространство, затратив на это все прошедшее бесконечное время, в чем и выражается временное обращение процесса расширения очень разреженного газа из одной точки в бесконечную вселенную в течение всего будущего бесконечного времени. Вообще нельзя даже ставить вопрос о *неспонтанной* реализации начальных условий, необходимых для осуществления сжатия последнего вида, поскольку такая реализация подразумевала бы внутренне противоречивое условие, подобное ложному условию первой антиномии Канта, а именно чтобы происходивший в течение бесконечного прошедшего времени процесс имел бы в конце концов начало (вызывался прошлыми *начальными* условиями).

Напротив, в *пространственно* ограниченной системе, несомненно, возможна реализация *неспонтанных* условий

¹ Рассмотрение процесса распространения света в *конечной* системе с точки зрения классической энтропии см. в: A. Landé, *Optik und Thermodynamik*, «Handbuch der Physik», Berlin: J. Springer, 1928, Bd. XX, S. 471—479.

появления сходящихся волн и сходящихся в одну точку частиц газа. Так, если пренебречь вязкостью, в *конечной* системе существуют расходящиеся волны, обращение во времени которых можно вызвать *неспонтанно*, бросив, например, большой кругообразный предмет на поверхность воды таким образом, чтобы все точки этого предмета одновременно ударились о воду. И следовательно, в конечной системе возможны такие условия, при которых будет возникать сходящаяся волна. Однако в попперовском условии спонтанности нет никакой нужды, когда мы утверждаем де-факто необратимость вечного расширения *сферической световой волны* из какого-то центра в бесконечное пространство! Если пространство бесконечно, то существование последнего процесса расширения гарантируется фактами наблюдения в сочетании с электромагнитной теорией; однако, несмотря на то что *законы* для изотропной и однородной среды также *допускают обратный* процесс¹, мы никогда не сталкиваемся с обратными процессами, в которых сферические волны изотропно сходились бы в определенной точке затухания.

Учитывая решающую роль бесконечности, или незамкнутости (oreppes), физической системы (вселенной) в противоположность конечности замкнутой системы для доказательства необязательности условия Поппера, профессор Хилл и я выдвинули следующее экзистенциальное требование относительно процессов, необратимость которых в «открытых» (бесконечных) системах является необратимостью де-факто и к тому же *неэнтропийной*:

В классической механике замкнутые системы характеризуются квазипериодическими сферами, тогда как открытые системы характеризуются по крайней мере некоторыми сферами, обладающими бесконечной протяженностью... Между этими двумя видами систем имеется фундаментальное различие в следующем смысле. В открытых системах всегда существует класс допустимых элементарных процессов, обращение которых невозможно на физических основаниях, поскольку для этого требуется *deus ex machina*. Например в незамкнутой вселенной вещество или излучение может бесконечно удалаться от конечной области пространства и таким образом непрерывно теряться. Обратный процесс потребовал бы возвращения вещества или энергии излучения из бесконечности и, таким образом, требовал бы процесса, который не может быть реализован физическими источниками. Пример Эйнштейна с уходящей световой вол-

¹ См.: Д. Д. У и т р о у, Естественная философия времени, стр. 18—20, 344—345. См. также: E. Zilsel, Über die Asymmetrie der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit, «Naturwissenschaften», Bd. XV (1927), S. 283.

ной, равно как и аналогичный случай Поппера с волной на поверхности воды, являются специальными конечными иллюстрациями этого принципа¹.

Необходимо отметить, что Хилл и я говорили о существовании в классической механике открытых систем по крайней мере некоторых аperiодических орбит, обладающих бесконечной протяженностью, и мы из соображений осторожности не стали требовать, чтобы каждый такой допустимый процесс, расширяющийся в бесконечность, был бы де-факто необратим. Напротив, мы утверждаем существование де-факто необратимости, которая оговаривается в условии Поппера относительно спонтанности, и говорим: «Всегда существует класс допустимых элементарных процессов», необратимых де-факто. И со своей стороны я думаю, что это требование представляет собой обобщение условия Поппера о существенной роли когерентности для процессов, де-факто необратимых которых не является условной в силу крайней ограниченности требования Поппера относительно спонтанности, поскольку они (эти процессы) направлены в открытых системах в бесконечность и поэтому должны были бы характеризоваться таким обращением, в котором вещество или энергия когерентно приходило бы из бесконечности и сходилось в одной точке.

Поэтому я был совершенно озадачен тем, что наше сообщение вызвало следующее несогласие Поппера (III):

В этой связи я должен выразить некоторое сомнение относительно справедливости принципа, который выдвинули профессора Хилл и Грюнбаум. При формулировке этого принципа они опираются на две идеи: на идею «незамкнутости» системы и идею *deus ex machina*. Обе эти идеи представляются недостаточными. Ибо система, которая состоит из солнца и кометы, приходящей из бесконечности и описывающей вокруг солнца гиперболическую траекторию, удовлетворяет, по моему мнению, всем критериям, сформулированным ими. Эта система является открытой, и возвращение кометы вспять по ее траектории потребовало бы для своей реализации *deus ex machina*: это потребовало бы «возвращения вещества... из „бесконечности“». Тем не менее она представляет собой пример именно такого типа процессов, которые рассматривались мной и которые мы все охотно описываем как обратимые.

Предложенный контрпример Поппера с кометой, приходящей в солнечную систему из бесконечности, представляется мне неудачным по следующим причинам: во-первых, ни

¹ E. L. Hill and A. Grünbaum, Irreversible Processes in Physical Theory.

действительное движение кометы, ни его обращение не связаны ни с какой *когерентностью*, то есть со свойством, которое я со своей стороны рассматривал как весьма существенное при получении неэнтропийной де-факто необратимости в открытых системах. С моей точки зрения, тот факт, что частица или фотон *пришли из* бесконечности за бесконечное прошедшее время, сам по себе не требует *deus ex machina*, так же как этого не требуется для того, чтобы они *уходили* в бесконечность в течение бесконечного будущего. В этой связи я рассматриваю как безобидную асимметрию то, что о частице, пришедшей из бесконечности, можно сказать, что она *до данного момента* прошла бесконечное расстояние, тогда как о частице, отправляющейся в бесконечное путешествие в будущее, можно сказать, что *в любое* будущее время она пройдет *конечное* расстояние. Я полагаю, что *deus ex machina* требуется для когерентного «схождения» из бесконечности, которого не существует де-факто, тогда как когерентное «расхождение» существует на самом деле. Во-вторых, даже игнорируя то обстоятельство, что движение кометы Поппера не подразумевает когерентности, проблема состоит вовсе не в том, как он полагает, требуется ли *deus ex machina* для реализации обращенного движения любой данной кометы по ее траектории. Напротив, проблема состоит в том, что если не потребуется никакого *deus ex machina* для реализации движения данной кометы, то почему он необходим для осуществления реального движения другой кометы, являющейся обращением первой? Ответом на этот вопрос будет решительное «нет». В отличие от случая сходящейся и расходящейся волн (расширение и сжатие) движения обеих комет, которые являются временными обращениями друг друга, равноправны относительно роли *deus ex machina* для их реализации. И даже обращение движения реальной кометы в соответствующей точке ее орбиты может быть фактически вызвано упругим столкновением с другой кометой равной массы, движущейся в противоположном направлении, и, следовательно, не будет подразумевать, как говорит Поппер в (III), «*deus ex machina*, подобно гигантским теннисистам».

Мне думается, что экзистенциальное требование, выдвинутое Хиллом и мной, будучи почти неуязвимым относительно предложенного Поппером контрпримера и являясь столь же жизнеспособным, как и условие Поппера, имеет, однако, большие преимущества по сравнению с ним,

поскольку достигает большего обобщения в силу своей независимости от ограничений, накладываемых условием спонтанности Поппера. Поэтому я не вижу никакой возможности для подтверждения следующих двух высказываний Мельберга. Во-первых, Мельберг ошибочно утверждает, что Хилл и я требовали де-факто необратимости для «класса всех мыслимых физических процессов, которая [необратимость] обеспечивается тем, что на нее накладывается слабое условие происходить в «незамкнутой» физической системе», и, во-вторых, Мельберг утверждает, что «Поппер показал несостоятельность критерия, выдвинутого Хиллом и Грюнбаумом, предложив эффективный контрпример, иллюстрирующий невозможность чрезвычайно широкого обобщения его исходного критерия»¹.

Критическая оценка Мельбергом утверждения Поппера относительно де-факто необратимости также представляется мне неприемлемой в силу следующих соображений. Поставив вопрос, является ли необратимость, утверждаемая Поппером, «выражающей закон», или «фактофиксирующей» («factlike») — ответ: «фактофиксирующей», — Мельберг² делает вывод, что временную асимметрию Поппера, «по-видимому, скорее нужно интерпретировать как локальное, фактофиксирующее, специфическое для поверхности земли свойство, а не как свойство универсальное, выражающее закон... относительно которого можно ожидать, что оно может воплотиться в реальность всегда и везде». В выводе Мельберга имеются два пункта, требующие комментариев: это, во-первых, значение, которое он придает тому обстоятельству, что необратимость определенного класса процессов есть необратимость де-факто, или фактофиксирующая, а не номологическая, или выражающая закон, когда он пытается решить проблему «анизотропии versus изотропии» времени, и, во-вторых, поразительный контраст между *эпистемологической скупостью* его характеристики необратимости, постулируемой Поппером, которая, с точки зрения Мельберга, представляет собой «локальное... специфическое для поверхности земли свойство», и *индуктивной самоуверенностью* Мельберга, готового показать, что существует космически всеобщая номологическая изотропия времени, приписывая *космическое* значение как в пространственном, так

¹ H. M e h l b e r g, Physical Laws and Time's Arrow, p. 128.

² Ibid., p. 126.

и во временном отношении тем фундаментальным, *симметричным во времени* законам, которые подтверждены в ограниченной модели вселенной, отражающей уровень знаний современного человека.

Что касается первого из этих двух пунктов, по которым Мельберг отрицает анизотропию времени, то мы предварительно отметим, что тщетность человеческих надежд на вечную биологическую жизнь столь же надежно обусловлена тем, что все люди смертны де-факто, то есть в силу граничных условий, действующих непрерывно, как и в том случае, если смертность людей обусловлена каким-то законом. Более того, мы видели в седьмой главе, что и другие свойства времени, помимо анизотропии, зависят от граничных условий, а не только от законов: топологическая замкнутость в противоположность замкнутости времени есть следствие граничных условий; если законы являются детерминистскими, то можно получить специфические виды незамкнутого времени (конечного, бесконечного в одном направлении или бесконечного в обоих направлениях). Если необратимость де-факто существует всегда и везде, то как можно избежать вывода о том, что именно эта необратимость обуславливает анизотропию времени? И эта анизотропия ни на йоту не уступает той анизотропии, которая гарантировалась бы *асимметричными* во времени фундаментальными законами космоса.

Ибо для анизотропии времени решающим является не вопрос о том, отсутствует ли временно обращение некоторых процессов по фактофиксирующим или выражающим закон основаниям. Напротив, анизотропия времени зависит от того, существует ли в действительности требуемое обращение или нет, какие бы причины его ни вызывали. Кроме того, *если* различие между законом (номическая регулярность) и неномической регулярностью, возникающей из граничных условий, всегда может быть выведено теоретически ясным образом, то значительный интерес представляет вопрос, почему необратимость, существующая в природе, есть необратимость де-факто, а не номологическая. Однако, с моей точки зрения, оценивая доказательства анизотропии времени, Мельберг допускает ошибку, подчеркивая не то, что нужно: он ошибочно недооценивает необратимость де-факто по сравнению с необратимостью номологической, не сумев доказать, почему космическая экстраполяция известных нам симметричных во времени законов на самом

деле является более убедительной, чем соответствующая экстраполяция фактических условий, обеспечивающих наблюдаемую де-факто необратимость. Ибо, как можно утверждать, что вездесущее и непрерывное существование де-факто вероятностных граничных условий, на которых Поппер основывает свое утверждение об анизотропии времени, подтверждается гораздо менее, чем те законы, на временной симметрии которых Мельберг хочет обосновать свое отрицание анизотропии времени? В частности, вызывает удивление, как рассчитывает Мельберг найти индуктивное подтверждение своему заявлению о том, что мы опираемся только на «специфическое для поверхности земли свойство», когда у Поппера (III) мы читаем:

Только такие условия реализованы причинно, которые могут быть организованы из одного центра... Причины, не скорректированные из одного центра, причинно не связаны между собой и могут объединяться [то есть вызвать когерентность в форме *изотропной*, сходящейся в одну точку волны] только случайно... Вероятность такого события будет равна нулю.

Если предполагается, что это высказывание не имеет силы, например на всех планетоподобных телах вселенной, тогда почему мы имеем право предполагать вместе с Мельбергом, что симметричные относительно времени законы механики, например, иллюстрируются повсюду во вселенной движением двойных звезд? Поскольку мы не видим никаких убедительных оснований для индуктивной уверенности Мельберга в возможности двойного стандарта при оценке всеобщности выражающих закон и фактофиксирующих регулярностей, то мы рассматриваем его отрицательную оценку неэнтропийной де-факто анизотропии времени как совершенно не обоснованную.

Переоценка Мельбергом значения необратимости, выраженной при помощи закона, по сравнению с необратимостью де-факто точно так же перечеркивает, как нам представляется, следующую оценку, которую он сам же дает де-факто необратимости в оптике. Эту необратимость он считает очень важной; с его точки зрения, она является как раз тем видом необратимости, которому можно приписать космические масштабы. Он пишет:

Менее спекулятивным примером космологической необратимости, который многие авторы уже обсуждали с этой точки зрения, является распространение света *в вакууме*... В соответствии с теорией Максвелла, где свет трактуется как электромагнитное явле-

ние, говорят, что свет, излучаемый точечноподобным источником, и свет, сходящийся в одну точку, может распространяться концентрическими сферическими поверхностями, которые либо монотонно расширяются, либо монотонно сжимаются. Однако независимо от теории Максвелла область существования расширяющихся оптических сфер, как известно, намного превосходит область существования сжимающихся сфер. Это статистическое превосходство расширяющихся оптических сфер обусловлено просто тем, что точечноподобных атомов, излучающих свет, неизмеримо больше, чем абсолютной сферических непрозрачных поверхностей, которые способны порождать, главным образом с помощью отражения, сходящиеся оптические волны. Если это так, то данное отношение областей существования обоих типов световых волн дает космологический ключ к повсеместной необратимости определенного класса оптических процессов.

Значение этой оптической необратимости для стрелы времени обсуждалось довольно часто. Задолго до того, как асимметрия расходящихся и сходящихся световых волн была возведена в ранг стрелы времени, Эйнштейн отмечал¹, что асимметрия этих двух типов распространения света имеет силу только для волновой теории света. Когда же свет отождествляется с роем фотонов, асимметрия исчезает. Этот вывод имеет силу по крайней мере для пространственно конечной вселенной или для оптических явлений, происходящих в конечной области пространства.

Однако решающим пунктом представляется здесь то, что асимметрия между двумя типами световых волн зависит от фактических начальных условий, которые преобладают в данном мгновенном сечении космической истории, или от «границ» конечной или бесконечной вселенной, а не от номологических соображений относительно этой истории: всякое другое отношение между областями существования расходящихся и сходящихся световых волн также было бы в согласии с соответствующими законами природы, сформулированными в теории электромагнитных явлений Максвелла. Конечно, упомянутые выше номологические условия, ответственные за фактическое отношение этих областей существования, не являются только «локальными»; поскольку они охватывают весь мир, постольку они и являются космологическими. Эти условия являются тем не менее условиями де-факто, а не выражающими закон, что совершенно очевидно из сравнения с соответствующими законами, которые выводятся из теории Максвелла².

Вопреки Мельбергу решающим пунктом представляется отнюдь не то, что «асимметрия между двумя типами световых волн зависит от фактических начальных условий... а не от номологических соображений». Он также утверждает, что «по крайней мере для конечной вселенной или для оптических явлений, происходящих в конечной области

¹ А. Эйнштейн, О развитии наших взглядов на природу излучения, «Собрание научных трудов», т. III, 1966, стр. 181—196.

² Н. Мельберг, *Physical Laws and Time's Arrow*, pp. 123—124.

пространства», корпускулярный характер фотонов, как предполагал Эйнштейн, делает несостоятельной оптическую асимметрию, которая следует из волновой теории света. Я полагаю, однако, что это утверждение нужно уточнить следующим образом: оптическая асимметрия исчезает, *если она вообще может исчезнуть, только в конечном пространстве*. Предположим, опираясь на Эйнштейна, что элементарный процесс излучения представляет собой передачу энергии от одной-единственной излучающей частицы одной-единственной поглощающей частице. В этом случае уже не требуется фантастически сложной когерентности, необходимой для образования непрерывной сходящейся волновой сферы. Здесь достаточна менее сложная когерентность между частицами, расположенными на стенках конечной системы и излучающими сходящиеся фотоны. Однако, как указывали Хилл и я¹, де-факто необратимость пространственно симметричного вечного движения светового импульса, излученного точечным источником в *бесконечное пространство*, не зависит от того, будет ли свет представлять собой волну или же он будет роem фотонов.

Эта необратимость не зависит также от признания космологической теории устойчивого состояния вселенной, которая, по словам Голда, дает следующее объяснение тому факту, что вселенная представляет собой для излучения бездонную пропасть.

Именно эта легкость, с которой вселенная всасывает любое количество излучения, отличает ее от любого замкнутого контейнера и определяет стрелу времени в любой системе, находящейся в контакте с этой бездонной пропастью. Однако почему происходит так, что вселенная является бездонной пропастью для излучения? В многочисленных космологических теориях этому дается различное объяснение и в некоторых схемах рассматривается как временное свойство вселенной². В теории устойчивого состояния вселенной это явление, по существу, объясняется состоянием расширения. Красное смещение действует так, чтобы уменьшить вклад в поле излучения удаленной материи. Хотя плотность не уменьшается даже на больших расстояниях, небо остается черным, потому что в большинстве направлений вещество вдоль линии зрения удаляется очень быстро³.

¹ E. L. Hill and A. Grünbaum, Irreversible Processes in Physical Theory.

² Видимо, Голд ссылается здесь на модели пространственно замкнутой, или конечной, вселенной.

³ T. Gold, The Arrow of Time, в: «La Structure et L'Évolution de l'Univers», «Proceedings of the 11th Solvay Congress», Brussels: R. Stoops, 1958, pp. 86—87.

Голд, видимо, имеет здесь в виду, что благодаря значительному доплеровскому смещению частота радиации ν , излучаемой удаляющимися галактиками, становится очень небольшой и стремится к нулю, а поскольку энергия радиации выражается формулой $E = h\nu$, то сходящееся к нам от таких источников излучение мы будем воспринимать в очень небольших дозах, если только вообще будем получать его. Далее он продолжает:

Это распространение фотонов, происходящее повсюду в материальном мире, представляет собой наиболее поразительный тип асимметрии и, по-видимому, служит основой для других асимметрий времени, которые нам известны. Преимущественное расхождение, а не схождение мировых линий системы прекращается в том случае, если система оказывается изолированной в контейнере, который не позволяет фотонам распространяться в космическом пространстве. Стрела времени тогда исчезает.

Мы видим, что оценка, данная Голдом, показывает решающую роль бесконечности пространства для необратимости радиации, излучаемой точечным источником. Правда, он подчеркивает, что доплеровское смещение, вызванное расширением, является причиной темноты ночного неба, которое в противном случае было бы ярко освещенным. Однако решающий пункт состоит в следующем: даже если бы энергия излучения удаляющихся галактик не истощалась столь усиленно доплеровским смещением, такое излучение все же не представляло бы собой обращения процессов, в которых излучение фотонов симметричным образом навсегда уходит из точечного источника в бесконечное пространство. Обращение последнего процесса излучения, которого на самом деле не существует, означало бы наличие такой конфигурации фотонов, которая сжималась бы, приходя из бесконечности, то есть вообще ни от какого источника, и сходилась бы в точке в течение всего бесконечного прошлого.

Мы опять видим, что полная симметрия времени, основанная на законах, подобных законам динамики или электромагнетизма, по существу, совместима с существованием случайной необратимости. Это достаточно убедительно выражено Пенроузом и Персивалем, по мнению которых основанием этой совместимости является то, что «динамика относит состояние системы к двум разным моментам времени, однако она не накладывает никаких ограничений ни на

состояние в какой-то один момент времени, ни на распределение вероятностей в любое данное время»¹.

Анизотропия, вытекающая из неэнтропийной де-факто необратимости, которую мы рассматриваем, 1) более распространена во временном отношении, нежели только статистическая анизотропия, гарантируемая термодинамикой ветвящихся систем, и 2) более вездесуща в пространственном отношении, нежели любая исключительно крупномасштабная анизотропия времени вроде той, которую гарантирует, например, вселенная, представляющая собой монотонно расширяющееся сферическое трехмерное пространство, обладавшее в конечном прошлом сингулярным состоянием, которое не имело предшественника. Ибо неэнтропийная де-факто необратимость, которую мы рассматриваем, гарантирует однородную временную анизотропию для локальных интервалов во временном континууме отнюдь не менее, чем для самого этого континуума в больших масштабах. И в отличие от такой анизотропии, которая вытекала бы из монотонного расширения сферической трехмерной вселенной, анизотропия, которая гарантируется неэнтропийной де-факто необратимостью Поппера, проявляет себя в пределах небольших областей пространства, доступных нашему повседневному опыту.

Предшествующее рассуждение можно было бы дополнить более подробным рассмотрением результатов таких физических теорий, как космологические теории устойчивого состояния. Что касается более широкого класса физических теорий, то связь между термодинамическими и нетермодинамическими видами необратимости могла бы оказаться, пожалуй, более глубокой, чем мы утверждали. А именно связь эта может идти далее того факта, что оба вида необратимости обязаны своим существованием граничным условиям, а не законам, и выведение этой связи в случае систем пространственно ограниченных и непрерывно замкнутых обречено на неудачу. Таким образом, Голд неразрывно связывает все временные асимметрии, которые обуславливают анизотропию времени, с временной асимметрией между расхождением и схождением (дивергенцией и конвергенцией) геодезических линий, которая соответствует фундамен-

¹ O. Penrose and I. C. Percival, The Direction of Time, «Proceedings of the Physical Society», Vol. LXXIX (1962), p. 606.

тальным наблюдениям (расширение вселенной). Так, он соотносит временную асимметрию во всех статистических процессах с тенденцией радиации к дивергенции в положительном времени, эту же тенденцию он в свою очередь соотносит с расширением вселенной. Таким образом, Голд связывает термодинамическую асимметрию и асимметрию излучения с космологической асимметрией.

Поскольку *неэнтропийная* де-факто необратимость достаточна для обеспечения анизотропии времени, статистически асимметричное во времени энтропийное поведение ветвящихся систем не является необходимым условием анизотропии времени. В соответствии с этим, если кто-нибудь говорит, что это последнее энтропийное поведение статистически (и существенно) определяет отношение «позже чем» физического времени, которое отличается от психологического времени (времени здравого смысла), то термин «определяет» должен толковаться в слабом смысле — «является эмпирическим индикатором». Однако важное значение имеет ясное понимание того, что слабое толкование энтропийного определения отношения «позже чем» неизбежно обусловлено не только статистическим характером термодинамической анизотропии времени, но и существованием *неэнтропийной* необратимости наряду с энтропийной статистической необратимостью. Это важное соображение, по-видимому, упущил из виду Карнап при изложении критических замечаний по поводу энтропийного определения отношения «позже чем». Он пишет:

Определение Рейхенбаха, которое принимается также и Грюнбаумом¹, представляется мне весьма проблематичным. Рейхенбах критикует определение Больцмана, указывая, что хотя корреляция между направлением времени и возрастанием энтропии имеет место, однако она не универсальна, а обладает только некоторой степенью вероятности. Я с этим согласен. Однако мне кажется, что аналогичные возражения имеют силу и для определения Рейхенбаха².

¹ Мои разъяснения относительно различия между определениями, которые предлагаются Рейхенбахом и мной соответственно, были недоступны Карнапу, когда он писал цитируемые здесь замечания. Однако читатель, вспомнив первую часть данной главы, обнаружит, что, несмотря на очевидную и существенную связь моего энтропийного определения отношения «позже чем» с определением Рейхенбаха, имеются важные стороны, которыми мое определение отличается от его определения.

² R. Carnap, Adolf Grünbaum on the Philosophy of Space and Time, в: P. A. Schilpp (ed.), The Philosophy of Rudolf Car-

В неопубликованном более подробном изложении последнего утверждения, которое я привожу здесь с любезного разрешения автора, профессор Карнап писал:

Если мы понимаем отношение «раньше» в обычном физическом смысле этого термина, то для одной системы справедливость утверждения «если энтропия во временной точке A значительно ниже, чем во временной точке B , тогда A раньше, чем B » не универсальна, а только вероятна. Однако в таком случае представляется ясным, что одни и те же утверждения относительно большинства ветвящихся систем, как и в случае одной ответвившейся системы, справедливы только с некоторой степенью вероятности, хотя при определенных условиях эта вероятность может быть подавляюще велика. Если последнее имеет место, тогда возрастание энтропии может, конечно, рассматриваться как основа индуктивного вывода отношения E [то есть отношения «раньше чем»]. Однако представляется весьма сомнительным, законно ли принимать статистические корреляции, как бы высока ни была их вероятность, за основу теоретического определения. Иными словами, если отношение E' определяется таким образом, тогда существуют случаи, где E и E' не совпадают, если E понимается в обычном смысле.

Верно, конечно, что мое энтропийное определение отношения «позже чем» является только статистическим: это определение предполагает, что в большинстве пространственных ансамблей ветвящихся систем энтропия подавляющего большинства членов ансамбля будет возрастать в одном из двух направлений времени и уменьшаться в другом. И эти два направления времени уже отличаются друг от друга в той степени, в которой мы используем временное o -отношение «между» для внешнего наложения координатной шкалы в виде вещественных чисел, не предполагая при этом вначале, что энтропийная статистика ветвящихся систем окажется асимметричной во времени. Следовательно, верно, что направление возрастания энтропии большинства ветвящихся систем не является одним и тем же для всех космических эпох, в которых существуют ветвящиеся системы, удовлетворяющие начальным условиям «беспорядочности», но является одинаковой только для большинства таких космических эпох. Этот факт побуждает меня в такой ситуации говорить о «статистической» анизотропии времени. Однако я полностью отрицаю утверждение Карнапа, что мое энтропийное определение отношения «позже чем» (или

пар, LaSalle: Open Court Publishing Co., 1963, p. 954. Сущность моего энтропийного определения отношения «позже чем» была изложена в моей статье для следующего тома под редакцией Шилпа «Carnap's Views on the Foundations of Geometry», pp. 599—684.

соответственно «раньше чем») в силу того, что оно, по существу, является статистическим, сталкивается со следующими трудностями, о которых говорит Карнап: 1) существуют случаи, где E (то есть обычное «раньше чем» физики, которое употребляется, например, при графическом изображении изменения энтропии непрерывно замкнутой системы во времени) и E' (то есть «определяемое» с помощью энтропийного отношения «раньше чем») не совпадают и что, следовательно, 2) представляется весьма сомнительным, законно ли принимать статистические корреляции, как бы велика ни была их вероятность, за основу теоретического *определения*. Мое отрицание уязвимости нашего определения относительно критических замечаний Карнапа основывается на том, что данное определение отношения «позже чем» прямо использует направление возрастания энтропии в качестве *типичного представителя* большинства космических эпох, так что приписывание отношений раньше — позже состояниям, принадлежащим к космическим эпохам, *несхожим* в энтропийном отношении, будет диктоваться тем, что последние эпохи находятся к типичным энтропийным эпохам в *о-отношении* «между». Поэтому здесь нет никаких трудностей вроде тех, на которые ссылается Карнап, что становится ясным из моей более ранней оценки временного описания явлений флуктуации на основе предложенного мной энтропийного определения отношения «позже чем»: ветвящиеся системы, характеризующиеся космически «случайным» *уменьшением* энтропии, в *положительном* времени могут быть описаны именно таким образом, поскольку эти уменьшения имеют во времени *противоположные направления* относительно возрастания энтропии большинства ветвящихся систем.

Следовательно, энтропийный характер моего определения отношения «позже чем» отнюдь не делает его непригодным. И действительной причиной отрицания Рейхенбахом и мной попытки Больцмана дать статистическое определение было совсем не то, что оно является статистическим. Карнап, видимо, не учел, что основанием нашего отрицания попытки Больцмана было совсем иное положение, а именно то, что соответствующие вероятности статистики Больцмана были *полностью симметричны относительно времени*. Это статистика энтропийного поведения одной непрерывно замкнутой системы в течение долгого периода времени.

АСИММЕТРИЯ ВОЗМОЖНОСТИ, РЕТРОСПЕКТИВНЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫСКАЗЫВАНИЙ. ОБЪЯСНЕНИЕ ПРОШЛОГО И ПРЕДСКАЗАНИЕ БУДУЩЕГО МЕХАНИЦИЗМ VERSUS ТЕЛЕОЛОГИИ

Асимметричный во времени характер энтропийной статистики ветвящихся систем приводит к некоторым важным выводам, которых мы не касались в восьмой главе и на которые нам нужно теперь обратить внимание. В частности, наши выводы относительно энтропийной статистики ветвящихся систем можно использовать для того, чтобы объяснить: 1) условия, при которых возможно ретроспективное высказывание относительно прошлого, тогда как предсказание будущего невозможно¹, 2) отношение психологического времени к физическому времени, 3) выводы, которые следуют из возможности ретроспективного и невозможности соответствующего перспективного высказывания, и их значение для объяснения прошлого и предсказания будущего и 4) значение полемики между философским механицизмом и телеологией.

А. Условия, при которых возможно ретроспективное и невозможно перспективное высказывание

Предположим, что мы попали на пляж, где песок образует гладкую поверхность, за исключением одного места, где песчинки расположены в виде отпечатка человеческой ноги. Из наших приведенных ранее соображений следует, что данная система не развилась *изолированно* из предыдущего состояния однородной гладкой поверхности в ее

¹ Напомним читателю, что условия, при которых получается обратная асимметрия, обсуждались в восьмой главе.

настоящую необычную конфигурацию в соответствии с принципом статистической энтропии для непрерывно замкнутых систем; вероятнее всего, пляж был открытой системой, которая *взаимодействовала* с проходившим по песку человеком. И кроме того, мы знаем, что если имеется более широкая квазизамкнутая система, к которой принадлежат и пляж и прохожий, то, как это часто бывает, пляж достигает своего упорядоченного состояния с низким уровнем энтропии, характеризующимся отпечатком, или индикатором взаимодействия, по крайней мере за счет возрастания энтропии в более общей системе, включающей в себя и прохожего, которое компенсирует понижение энтропии пляжа: прохожий вызывает возрастание энтропии в более общей системе, расходуя свои ресурсы энергии на оставление следов.

Таким образом, отпечаток ноги на песке является настоящим индикатором, а не формой, случайно возникшей из произвольного беспорядочного смещения песчинок. Отпечаток, следовательно, содержит информацию в том смысле, что он является правдивым индикатором взаимодействия. Далее, по всей вероятности, энтропия системы «пляж», которая характеризуется отпечатком ноги после взаимодействия этой системы с прохожим, будет возрастать в силу сглаживающего действия ветра. И это возрастание энтропии будет идти, вероятно, параллельно направлению возрастания энтропии большинства ветвящихся систем. Более того, возникновение индикатора в результате взаимодействия, видимо, включается в возрастание энтропии какой-то более общей системы, частью которой является этот индикатор. Следовательно, по всей вероятности, *по сравнению с состояниями взаимодействия состояния взаимодействующих систем, которые должны содержать индикаторы взаимодействия, суть состояния с относительно более высокой энтропией, характерной для большинства ветвящихся систем. Поэтому состояния-индикаторы являются более поздними по сравнению с состояниями взаимодействия, о которых они свидетельствуют. Будучи более поздними, а также индикаторами, эти состояния имеют ретроспективное значение, поскольку они являются следами, протоколами или воспоминаниями. И благодаря высокой степени ретроспективного правдоподобия состояний с низкой энтропией, представляющих собой индикаторы, последние обладают высокой степенью специфичности.*

Ограничивая наше внимание только такими индикаторами, *появление* которых требует наличия взаимодействия, о котором они свидетельствуют, мы приходим к следующему выводу. Кроме некоторых видов *предварительных* индикаторов, появление которых требует весьма специальных условий и которые составляют *исключения*, обычно происходит так, что с *подавляющей вероятностью индикаторы-состояния с низкой энтропией могут существовать в системах, о взаимодействиях которых они свидетельствуют только после этих взаимодействий*, а не до них¹. Если этот вывод правилен (предполагается, что либо не существует случаев, либо не существует достаточного количества случаев, позволяющих *bona fide* опровергнуть его), то он, естественно, не является априорной истиной. И было бы весьма неосмотрительным пытаться выдавать его за тривиальную априорную истину, называя состояния-индикаторы следами, протоколами или воспоминаниями и указывая на то, что утверждение о следах и подобных им индикаторах как имеющих только ретроспективное значение, опираясь на которые нельзя предсказывать будущее, есть простая тавтология. Но эта словесная игра не делает априорной истиной утверждение, что (кроме исключений, которые будут обсуждаться ниже) взаимодействующие системы порождают индикаторы, правдиво свидетельствующие только о их прошлых, но не о будущих взаимодействиях с внешними силами.

Следовательно, кроме отмеченных исключений, мы получаем фундаментальную асимметрию протоколируемости: *во взаимодействующих системах существуют надежные индикаторы только для ретроспективных выводов относительно взаимодействий, за которые они ручаются, но из них нельзя делать никаких предсказаний относительно соответствующих взаимодействий в будущем.*

¹ Два исключения, которые мы ниже обсудим несколько подробнее, представлены следующими классами предварительных индикаторов: во-первых, достоверные предсказания, которые делаются и запасаются (протоколируются) человеческими или другими существами, которые обладают чувствами и пользуются теорией, и физически регистрируемые *bona fide* предварительные индикаторы, которые получаются с помощью вычислительных машин, и, во-вторых, предварительные индикаторы (например, внезапное падение стрелки барометра), являющиеся следствиями той же самой причины (изменение давления), которая вызывает к жизни и будущие взаимодействия (шторм), на что и указывают эти индикаторы.

Грубо говоря, логическая схема этих индуктивных выводов является следующей: предпосылки, в которых утверждается 1) наличие в системе определенного состояния, характеризующегося низкой энтропией, и 2) существование квазиуниверсального статистического закона, гласящего, что большинство состояний с низкой энтропией являются индикаторами взаимодействий *и им предшествовали* взаимодействия, о которых они свидетельствуют. Вывод из этих предпосылок будет в таком случае индуктивным ретроспективным высказыванием о происшедшем в прошлом взаимодействии определенного типа.

Как уже говорилось, наше утверждение о временной асимметрии возможности протоколирования взаимодействий следует уточнить, проанализировав два исключения, из которых первым является предварительное протоколирование тех взаимодействий, которые достоверно предсказываются людьми (или вычислительными машинами). Ибо любое событие, которое может быть предсказано ученым, с таким же успехом может быть «предварительно запротоколировано» этим ученым в самых различных формах, например в виде письменного сообщения о предстоящем таком-то событии, предварительного чертежа или в виде фотографии этого чертежа. Точно так же и искусственно созданные установки, вроде вычислительных машин, могут предварительно протоколировать те события, которые они в состоянии предсказать. Сравнение рукописных, начерченных и сфотографированных предварительных протоколов (то есть запротоколированных предсказаний), скажем падения самолета на дом и его последующее протоколирование в виде причиненных им разрушений, и такое же сравнение соответствующих предварительных и последующих протоколов взаимодействия человеческой ступни и пляжа позволит нам сформулировать существенные различия в совокупности условий, необходимых для получения соответствующих предварительных и последующих протоколов, равно как и обычных различий в способах их получения.

Получение по крайней мере одного ретроспективного индикатора или последующего протокола такого, скажем, взаимодействия, как падение самолета на дом, требует только наличия самого этого взаимодействия (равно как и средней степени продолжительности существования протокола). Относительно системы, которая взаимодействовала с внешними силами, нужно проводить различие между

ретроспективными индикаторами-состояниями и *использованием* этих физических индикаторов-состояний людьми в своих *познавательных* целях. И в нашем утверждении (что для появления последующих протоколов достаточно взаимодействия) признается, естественно, что интерпретация реальных последующих протоколов людьми как *bona fide* документов прошлого требует не только существования взаимодействий, но и применения теории. В отличие от возможности по крайней мере кратковременного протоколирования прошлого взаимодействия, для чего достаточно наличия самого взаимодействия, в случае возможности предварительного протоколирования одного взаимодействия недостаточно. Предупреждение о подавляющей невероятности какого-нибудь необычного события, появление даже одного-единственного предварительного протокола, связывающего систему с внешними силами, требует в качестве необходимого условия *либо* а) применения соответствующей теории существами, которые пользуются символами (люди, вычислительные машины) и обладают достаточной информацией, *либо* б) того, чтобы эти предварительные протоколы являлись частичными следствиями той причины, которая вызывает сами предварительно запротоколированные взаимодействия, как в случае с барометром, о котором речь пойдет ниже. И в ситуации, где для предсказания необходимо условие а), мы обнаруживаем, что, поскольку предварительные протоколы достоверны по определению, данное необходимое условие не может *вообще* быть также и достаточным, если теория, используемая в целях предсказания, не является детерминистической, а информация, которая имеется в распоряжении использующих теорию организмов, не относится к замкнутой системе.

Предварительные протоколы, помимо отличия от последующих протоколов по условиям их возникновения, отличаются от последних также и в другом отношении: если сам предварительный протокол, составленный человеком (или вычислительной машиной), *не является* частью взаимодействующей системы, к которой он относится, он не будет содержаться и в соответствующих состояниях взаимодействующей системы, а будет частью какой-то другой системы. Таким образом, предварительный протокол относительно того, что в густом тумане самолет врежется в дом, не будет вообще ни частью самолета, ни частью дома, хотя и данный случай и его предсказание вполне могут произой-

ти. Однако при *последующем* протоколировании всегда будет по крайней мере один последующий протокол, хотя бы и кратковременный, в той самой взаимодействующей системе, к которой этот протокол относится.

Наш предыдущий пример с отпечатком ступни на пляже может дать нам более полную иллюстрацию асимметрии между требованиями, необходимыми для появления предварительных или последующих протоколов. Предварительное протоколирование *последующей* прогулки по пляжу потребовало бы весьма обширной информации относительно побуждений и привычек людей, которых сейчас нет на пляже, а также знаний относительно возможностей, которыми располагают будущие прохожие, чтобы добраться до пляжа. Это равносильно знаниям относительно большой *замкнутой* системы, причем предполагается, что эти знания надежно включают все сведения относительно всех имеющих значение сил. Ибо в противном случае мы были бы не в состоянии гарантировать, например, что *будущий* прохожий не будет остановлен по дороге на пляж какой-нибудь силой, которая не включена в систему и возможность появления которой лишило бы наш предварительный протокол описываемого объекта, лишая его тем самым статуса правдоподобного индикатора. Короче говоря, в случае с отпечатком ступни, который является не предварительным, а последующим протоколом взаимодействия ноги человека с песчаной поверхностью, само взаимодействие *достаточно* для его протоколирования (хотя *продолжительность* существования протоколов может быть незначительной), но *не* для его предварительного протоколирования и предсказания. Поскольку будущее взаимодействие такой потенциально открытой системы, как пляж, недостаточно само по себе для осуществления его предварительного протоколирования, открытая система, подобная пляжу, не обнаруживает предварительных протоколов своих будущих взаимодействий. Вместо этого (помимо второго вида возможности предварительного протоколирования, к рассмотрению которого мы сейчас перейдем) для возможности предварительного протоколирования взаимодействий потенциально открытых систем необходима связь между символами и организациями, которые пользуются теориями или оперируют соответствующими устройствами вроде вычислительных машин. И такая возможность предварительного протоколирования может быть реальной в том случае, если теория, доступная

ти. Однако при *последующем* протоколировании всегда будет по крайней мере один последующий протокол, хотя бы и кратковременный, в той самой взаимодействующей системе, к которой этот протокол относится.

Наш предыдущий пример с отпечатком ступни на пляже может дать нам более полную иллюстрацию асимметрии между требованиями, необходимыми для появления предварительных или последующих протоколов. Предварительное протоколирование *последующей* прогулки по пляжу потребовало бы весьма обширной информации относительно побуждений и привычек людей, которых сейчас нет на пляже, а также знаний относительно возможностей, которыми располагают будущие прохожие, чтобы добраться до пляжа. Это равносильно знаниям относительно большой *замкнутой* системы, причем предполагается, что эти знания надежно включают все сведения относительно всех имеющих значение сил. Ибо в противном случае мы были бы не в состоянии гарантировать, например, что *будущий* прохожий не будет остановлен по дороге на пляж какой-нибудь силой, которая не включена в систему и возможность появления которой лишило бы наш предварительный протокол описываемого объекта, лишая его тем самым статуса правдоподобного индикатора. Короче говоря, в случае с отпечатком ступни, который является не предварительным, а последующим протоколом взаимодействия ноги человека с песчаной поверхностью, само взаимодействие *достаточно* для его протоколирования (хотя *продолжительность* существования протоколов может быть незначительной), но *не* для его предварительного протоколирования и предсказания. Поскольку будущее взаимодействие такой потенциально открытой системы, как пляж, недостаточно само по себе для осуществления его предварительного протоколирования, открытая система, подобная пляжу, не обнаруживает предварительных протоколов своих будущих взаимодействий. Вместо этого (помимо второго вида возможности предварительного протоколирования, к рассмотрению которого мы сейчас перейдем) для возможности предварительного протоколирования взаимодействий потенциально открытых систем необходима связь между символами и организациями, которые пользуются теориями или оперируют соответствующими устройствами вроде вычислительных машин. И такая возможность предварительного протоколирования может быть реальной в том случае, если теория, доступная

организмам, занимающимся предварительным протоколированием, является детерминистической и достаточно общей, то есть способной охватить все соответствующие законы и граничные условия, которым подчиняется рассматриваемая замкнутая система.

Исключения из асимметрии протоколирования, относящиеся ко второму типу, представлены, например, таким фактом, как внезапное падение показаний барометра, которые могут рассматриваться как предварительные индикаторы или «предварительные протоколы» последующего шторма. Конечно, непосредственно *перед этим* изменяется давление в пространственной окрестности барометра, и только это частное предшествующее изменение (то есть прошлое взаимодействие, обусловившее падение давления) протоколируется количественно падением стрелки барометра, а не те изменения давления, которые *будут* происходить в этом же самом месте в более *поздние* моменты времени. Чтобы сделать предсказания для предварительного протоколирования изменений давления, которые будут происходить в данной точке пространства в более поздние моменты времени (то есть протоколирование соответствующих будущих взаимодействий), необходимо наличие обширных метеорологических данных, охватывающих более широкие области. Однако в этом случае имеется возможность обосновать гораздо более надежные предсказания будущего шторма по сравнению с внезапным падением барометра. Последнее обстоятельство, однако, является на деле *bona fide* предварительным индикатором только в силу того, что оно есть частное следствие более общей причины, вызывающей также и шторм. Таким образом, выполняется необходимое условие, согласно которому требуется наличие каузальных «предков», частично перекрывающихся с каузальными «предками» шторма, что и позволяет приписать падению стрелки барометра статус предварительного индикатора. В отличие от ситуации, превалирующей в случае последующей протоколируемости, наличие этого необходимого условия содействует тому, что будущее появление шторма *недостаточно само по себе* для существования предварительного индикатора этого шторма в виде внезапного падения стрелки барометра в более раннее время.

Аналогичную оценку можно дать примеру, предложенному мне для рассмотрения господином Ф. Брианом Скайрсом, а именно ситуациям, в которых предварительными

индикаторами событий являются намерения людей вызвать эти события. Так, желание выпить кружку пива в совокупности с предположением, что имеются условия, при которых и пиво и кружка доступны, приводят к намерению осуществить это действие. И если внешние условия допускают (пиво имеется в наличии и доступно) и если осуществлены требуемые внутренние условия (человек может пойти и купить его), тогда уже намерение будет причиной того, что человек выпил пива. Однако в отличие от ситуации, преобладающей в случае ретроспективных индикаторов (последующих протоколов), будущее питье пива не является достаточным условием для существования вероятностного предварительного индикатора данного события в форме соответствующего намерения.

Соображения о временной асимметрии протоколируемости взаимодействий мы завершим рассмотрением некоторых контрпримеров. Цель этих контрпримеров состоит в доказательстве того, что якобы существуют предварительные протоколы, появление которых не зависит от использования предсказательной теории организмами, оперирующими символами, или от того, являются ли предварительные протоколы следствиями причины, которая вызывает и протоколируемые ими взаимодействия.

Прежде всего можно утверждать, что существуют спонтанные предварительные протоколы, которые представлены в научных исследованиях следующими двумя видами: во-первых, в любой, по существу, замкнутой динамической системе, как, например, солнечная система, динамическое состояние, более позднее, чем состояние, имеющее место в момент времени t_0 , является не менее достаточным условием для появления состояния момента t_0 , чем состояние, существовавшее до t_0 , следовательно, состояние в момент t_0 может рассматриваться как предварительный протокол более позднего состояния, равно как и последующий протокол более раннего состояния, и, во-вторых, определенные причины, приводящие к смерти — скажем лейкемия, — могут быть достаточным условием для существования предварительного протокола в форме начала активного процесса болезни. Однако в этих примерах нарушаются условия, на которые мы опирались при отрицании спонтанной предварительной протоколируемости, и нарушаются в том смысле, что они включают более поздние состояния, которые не являются состояниями взаимодействия с внешними сила-

ми, воздействующими на замкнутую в других отношениях систему вроде нашего примера с пляжем.

Далее, поскольку тезис о временной асимметрии спонтанной протоколируемости делает случаи *bona fide* предсказания крайне невероятными, можно сказать, что этот тезис и энтропийные соображения, лежащие в его основе, уязвимы перед лицом достаточного числа случаев настоящих предсказаний, а именно открытий, о которых говорилось до того, как они были сделаны. На это мы можем возразить, что, если бы имеющиеся в виду предсказания были хорошо удостоверены, тогда мы, конечно, согласились бы рассмотреть данную альтернативу в рамках современной ортодоксальной теории науки, как она бы того и заслуживала.

Связь между состояниями низкой энтропии и ретроспективной информацией, которая следует из нашего обсуждения асимметрии протоколируемости, проливает свет на причину неудачи хорошо известного демона Максвелла, сортирующего частицы. Главное состоит в том, что демон Максвелла не может нарушить второй закон термодинамики, поскольку вызываемое им уменьшение энтропии газа не больше, чем балансирующее его возрастание энтропии в механизме получения информации относительно отдельных молекул газа, которая нужна демону для успешной их сортировки¹.

Мы уже видели ранее, как, опираясь на энтропию, можно установить, какое из двух причинно связанных событий является причиной, поскольку оно произошло несколько раньше. Наша энтропийная оценка обстоятельств, при которых из настоящего может быть сделан вывод о прошлом, но не о будущем, равно как и наше прежнее утверждение (см. восьмую главу) относительно обстоятельств, когда возможно только обратное определение, позволит нам точно установить условия, при которых оказывается справедливым утверждение Рейхенбаха о том, что «только полная совокупность всех причин позволяет нам делать выводы относительно будущего, но относительно прошлого

¹ См.: Л. Б. Бриллюэн, Наука и теория информации; E. C. Cherry, *The Communication of Information*, «American Scientist», Vol. XL (1952), p. 640; J. Rothstein, *Information, Measurement and Quantum Mechanics*, «Science», Vol. CXIV (1951), p. 171; S. Watanabe, *Über die Anwendung Thermodynamischer Begriffe auf den Normalzustand des Atomkerns*, «Zeitschrift für Physik», Bd. CXIII (1939), S. 482—513.

можно сделать вывод только из одного частного следствия» и далее: «можно сделать вывод об общей причине из частного следствия, однако нельзя сделать вывод относительно общего следствия из частной причины»¹. Частное следствие, возникшее в системе, когда она была незамкнутой, позволяет на этропийной основе сделать вывод относительно более раннего взаимодействия, которое явилось его причиной. Даже если мы не знаем всего следствия, мы знаем, что части его, которая является упорядоченным состоянием с низкой энтропией, (с большей вероятностью) предшествует состояние с еще более низкой энтропией, и отличие данного состояния от состояний, связанных с взаимодействиями, приводящими к очень низкой энтропии, относительно невелико, что и позволяет нам делать более точные заключения о прошлом.

Таким образом, асимметрия выводимости возникает на макроуровне при отсутствии знаний относительно микросостояний целой (замкнутой) системы в данное время и становится возможной благодаря относительной ретроспективной достоверности состояний с локальной низкой энтропией, которые возникают в результате взаимодействий. Следовательно, мы имеем ответ на вопрос, сформулированный Смартом, который писал: «Тогда, даже с точки зрения Лапласа, мы все еще не можем ответить на вопрос, почему из рассмотрения ограниченной области пространства мы можем сделать существенные выводы относительно прошлого, тогда как для предсказания подобных фактов относительно будущего даже сверхчеловеческий интеллект обязан был бы рассмотреть начальные условия в очень широком объеме»².

¹ H. Reichenbach, Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft, «Berichte der Bayerischen Akademie München, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Abteilung» (1925), S. 157; «Les Fondements Logiques de la Mécanique des Quanta», op. cit., p. 146. См. также: C. F. von Weizsäcker, Der Zweite Hauptsatz und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft. Отметив в своих более поздних публикациях (особенно в «Направлении времени», стр. 213—227), что временная асимметрия имеет здесь энтропийную основу, Рейхенбах отказался от своей прежней точки зрения, что это якобы обеспечивает независимый критерий анизотропии времени. Таким образом, он, по существу, признавал справедливость критических замечаний Бергмана относительно его более ранних рассуждений («Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik», S. 19—24).

² J. J. C. Smart, The Temporal Asymmetry of the World, p. 81.

Б. Физическая основа анизотропии психологического времени

Мы видели, что порождение следов, протоколов или воспоминаний, сопровождается обычно возрастанием энтропии в ветвящихся системах. И отсюда следует, что направление возрастания запасов информации, или «воспоминаний», либо в неодоушевленной регистрирующей установке, либо в подобном человеку организме, обладающем памятью, должно быть одинаковым с направлением возрастания энтропии в большинстве ветвящихся систем. Однако при обсуждении критики Эддингтона Бриджменом мы отмечали (см. восьмую главу), что возрастание, или аккумуляция, духовных «отпечатков», или воспоминаний, направлено вперед в психологическом времени. Следовательно, то, что является психологически более поздним, идет рука об руку с тем, что является более поздним с физической точки зрения, основанной на энтропийной эволюции ветвящихся систем. Поэтому анизотропия психологического времени отражает анизотропию физического времени, которая является более фундаментальной.

Это можно показать на конкретном примере: когда лектор читает лекцию, то этим он вызывает возрастание энтропии в аудитории и порождает воспоминания у слушателей о его психологических затратах. Вначале лектор обладал сконцентрированной энергией, и, следовательно, энтропия аудитории была в то время относительно низкой. После его лекции значительное количество энергии оказалось рассеянным в виде звуковых волн, что вызвало возрастание энтропии в аудитории, а также регистрирующие запоминания у слушателей, свидетельствующие о том, что все это произошло после того, как они расселись на своих местах.

Эти соображения показывают, что, даже в том случае, если бы наше существование как лиц, обладающих психикой, оказалось возможным в состоянии всеобщего равновесия (которого на самом деле нет), у нас не могло бы возникнуть никакого чувства времени, которым мы действительно обладаем. Если бы мы, к несчастью, оказались способными выдержать в течение достаточно долгого времени состояние погружения в глубокое космическое равновесие, это было бы невыразимо скучным занятием вплоть до утраты нами чувства времени.

В. Отношение возможности ретросказания и невозможности предсказания к возможности объяснения и предсказания

Какое имеет значение наличие асимметрии между ретросказанием и предсказанием для решения следующего совершенно иного вопроса: имеется ли симметрия между *объяснением* события E на основе одного или нескольких его *антецедентов*, если E относится к *прошлому* опыту ученого, пытающегося объяснить его, и предсказанием события E такого же типа с помощью ссылки на точно такие же *антецеденты* события E , если E относится к *будущему* опыту ученого, делающего предсказания? Короче говоря, каково отношение асимметрии ретросказание — предсказание к тезису о симметрии (или структурном равенстве) объяснения и предсказания, как она сформулирована такими авторами, как Гемпел¹. Прежде чем ответить на этот вопрос, мы выясним точный смысл временных отношений, рассмотренных здесь, и затем представим результат в виде диаграммы.

По Гемпелу, частные условия C_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), ответственные вместе с соответствующими законами за *объясняемое* (explanandum) событие E как в объяснении, так и в предсказании, могут существовать либо раньше, либо позже чем E . Так, случаи предсказания, когда C_i существуют позже чем E , имеются, например, в астрономии, где будущее E объясняется путем ссылки на C_i , которые будут существовать позднее чем E . Подобные утверждения имеют смысл, поскольку критерий, отличающий, по Гемпелу, объяснение от предсказания, состоит в том, что E принадлежит к *прошлому* опыту ученого, когда он предлагает свою оценку этого события, тогда как в случае предсказания E относится к *будущему* опыту ученого с точки зрения того момента, когда он делает свое предсказание.

Однако в антитезе «ретросказание — предсказание» *ретросказание* характеризуется тем, что C_i *существуют позже*

¹ Я отсылаю читателя к статье Гемпела и Оппенгейма «Studies in the Logic of Explanation», «Philosophy of Science», Vol. XV (1948), p. 15. Более поздние утверждения Гемпела относительно его оценки процедуры научного объяснения см. в его «Deductive Nomological vs. Statistical Explanation», в: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), Minnesota Studies in the Philosophy of Science (Minneapolis: University Minnesota Press, 1962), Vol. III, pp. 98—169.

чем E , тогда как в случае предсказания C_i существуют раньше чем E , и хотя это предсказание является антитезой ретросказания, оно не тождественно с предсказанием с точки зрения Гемпела.

В соответствии с диаграммой i, k, l, m могут принимать значение $1, 2, \dots, n$ каждое.



Рис. 9.

Если мы используем приставку H для сокращенного обозначения термина «гемпеловский», тогда два вывода становятся очевидными. Во-первых, ретросказание, равно как и предсказание, может быть как предсказанием, так и объяснением в гемпеловском смысле. Во-вторых, вопрос о том, является ли данное высказывание H -предсказанием, а не H -объяснением или наоборот, зависит от преходящего гомоцентрического «теперь», однако вопрос о том, является ли данное высказывание ретросказанием или предсказанием или наоборот, никак не зависит от момента «теперь».

Приведем отрывок из статьи Гемпела — Оппенгейма, излагающий тезис о симметрии, поддержанный Поппером.

Один и тот же формальный анализ, содержащий четыре необходимых условия, применим как к научному предсказанию, так и к объяснению. Различие между последними двумя имеет прагматический характер. Если дано E , то есть если мы знаем, что явление, описанное высказыванием E , произошло и после него можно сделать соответствующую совокупность высказываний $C_1, C_2, \dots, C_k, L_1, L_2, \dots, L_r$, то мы говорим об объяснении рассматриваемого явления. Если же последние высказывания уже имеются и E выводится до наличия явления, которое оно описывает, мы говорим о предсказании. Можно сказать поэтому, что объяснение не является вполне адекватным, если его объясняющие (explanans) не могут с точки зрения временной оценки выступать в качестве основы для предсказания рассматриваемого явления¹. Поэтому,

¹ «Логическое подобие объяснения и предсказания и тот факт, что одно из них направлено на события прошлого, а другое на отбытие будущего, хорошо выражается терминами «послесказание» и «предсказание», используемыми Рейхенбахом [в: «Philosophic Foundations of Quantum Mechanics», p. 13].»

что бы ни говорилось в этой статье относительно логических характеристик объяснения или предсказания, эти высказывания применимы и к тому и к другому даже в том случае, если упоминается только одно из них¹.

Поэтому теперь тезис Гемпела о симметрии, или структурном равенстве между H -объяснением и H -предсказанием, может быть сформулирован следующим образом: любое предсказание, которое логически и методологически квалифицируется как H -объяснение, с таким же успехом может быть определено и как H -предсказание в том случае, если ученый обладает информацией относительно C_i как до осуществления E , так и после. И любое ретросказание, которое логически и методологически определяется как H -объяснение, может быть квалифицировано и как H -предсказание в том случае, если информация относительно C_i может быть получена в соответствующее время, и обратно.

Прежде чем критически рассмотреть различные возражения, выдвинутые в современной литературе Решером², Баркером³, Хэнсоном⁴ и Скривеном⁵ против тезиса Гемпела об этой симметрии, нам бы хотелось сделать несколько замечаний относительно нашего понимания как самого этого тезиса, так и тех философских задач, к решению которых он имеет отношение.

Мы считаем, что утверждение Гемпела о симметрии имеет отношение не к возможности доказательства *per se* (самого по себе) объясняемого, а только к вопросу, является

¹ C. G. Hempel and P. Oppenheim, *Studies in the Logic of Explanation*, § 3.

² N. Rescher, *On Prediction and Explanation*, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VIII (1958), p. 281.

³ S. F. Barker, *The Role of Simplicity in Explanation*, в: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), *Current Issues in the Philosophy of Science*, pp. 265—286; см. также комментарии на эту статью Сэлмона, Файерабенда и Раднера и возражения на них Баркера.

⁴ N. R. Hanson, *On the Symmetry Between Explanation and Prediction*, «The Philosophical Review», Vol. LXVIII (1959), p. 349.

⁵ M. Scriven, *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*, «Science», Vol. CXXX (1959), pp. 477ff; отрывки из этой статьи были перепечатаны в: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. VIII, pp. 170—230. Там же была опубликована и статья Скривена «Explanations, Predictions and Laws».

ли возможность вывода объясняемого из объясняющего индуктивной или дедуктивной. Поппер и Гемпел говорят: помимо того, что существует объяснительная выводимость, имеется также и предсказательная выводимость, и наоборот. Они отнюдь не утверждают, что всякий раз, когда вы имеете право сказать на тех или иных основаниях, что события определенного типа происходили в прошлом, с тем же правом вы можете сказать, что события этого же самого типа произойдут и в будущем. Имея дело с проблемой научного истолкования, Поппер и Гемпел говорят, что существует временная симметрия не возможности доказательства *per se*, а возможности доказательства *в силу наличия объясняющего*. Научное значение предсказательных аргументов, а не только предсказательных утверждений можно решительно отвергнуть, если присоединиться к высказыванию Скривена, который отмечает, что в данном случае «решающий пункт состоит в том, что предсказание, хотя бы и успешное, какого-то события представляет собой просто выражение результата развития тех событий, на основании которых это предсказание делается, и оно *по внутренней своей сущности* является не чем иным, как простым описанием этого события»¹, ибо простое пророчество предсказателя о том, что третьей мировой войны не будет, которое ничем не обосновывается, не имеет научного значения и не внушает никакого доверия с научной точки зрения именно в силу неосновательности способа его достижения. Следовательно, оправданное с научной точки зрения предсказание какого-либо события должно быть чем-то большим, нежели просто предварительным утверждением о наступлении данного события. И в любом имеющем научную значимость случае можно провести различие между следующими двумя компонентами в значении глаголов «*H*-предсказать» и «*H*-объяснить» (или «пост-объяснить»), а также между значениями соответствующих существительных: 1) простым утверждением относительно объясняемого, которое может выводиться из оснований, отличных от его научных объясняющих, 2) логической выводимостью (дедуктивной или индуктивной) объясняемого из объясняющего; точный характер содержания объясняющего будет определен в этой главе несколько позднее.

¹ M. Sc r i v e n, Explanations, Predictions and Laws, Sec. 3.4.

Наша слабость к приставке *Н* перед словом «объяснять» (и «объяснение») и использование термина «пост-объяснять», как синонима «*Н*-объяснять» обусловлена стремлением напомнить в целях ясности, что это употребление термина «объяснять» вытекает из хорошо обоснованного ограничения, наложенного ранее на употребление одного термина, который должен быть *нейтральным относительно времени*, а именно на употребление термина «объяснять» в смысле достижения научного понимания (или научного объяснения), почему что-то произошло или произойдет. Однако, по нашему мнению, философская задача, стоящая перед нами, представляет собой не установление того, как употребляются слова «объяснять» и «предсказывать», даже если предположить, что имеется достаточное постоянство и точность в их употреблении, которые позволяют выполнять эту лексикографическую задачу. И поэтому приговор относительно правильности тезиса Гемпела о симметрии нельзя вынести в зависимости от того, сохраняется ли его справедливость при обычном употреблении этих терминов. Напротив, цель философского исследования представляется нам в этой связи как разъяснение и проверка условий научного понимания *объясняемого* с помощью *объясняющего*, как это происходит в реальной научной теории. В соответствии с этим тезис Гемпела о симметрии, который касается выводимости, а не доказуемости *объясняемых* из данного типа *объясняющих*, должен быть оценен на основе сравнения *Н*-предсказательных аргументов с *Н*-объяснительными по степени допускаемого ими научного понимания. Таким образом, дискуссия относительно адекватности тезиса о симметрии будет вращаться вокруг следующего вопроса: характеризует ли временная симметрия логическую связь между *объясняющим* и *объясняемым*, и если да, то какова степень ее влияния. Выражаясь более точно, нам нужно будет ответить на следующие два вопроса. Во-первых, если имеется *аргументация*, которая позволяет предсказывать будущее событие-*объясняемое*, то почему она не обеспечивает равнозначное научное понимание соответствующего прошлого события? И во-вторых, объясняет ли *объясняющее* свое *объясняемое*, связанное с событием прошлого, с большей убедительностью, чем объясняющее такого же типа, но *предсказательное*, которое *подразумевает объясняемое*, относящееся к событию будущего.

Теперь мы можем вернуться к оценке критических замечаний в адрес тезиса симметрии Гемпела, которые были выдвинуты Решером, Баркером, Хэнсоном и Скривеном. В свете нашей формулировки тезиса Гемпела становится ясным, что он *не* утверждает, как предполагает Решер, что любая система *S*, которая позволяет сделать *предсказательный* вывод, способна также обеспечить и соответствующее *ретроспективное* высказывание или что обращение этого высказывания также является истинным. Как правильно, но неуместно отмечает Решер, вопрос о том, существует или нет симметрия между предсказанием и ретросказанием в любой данной сфере эмпирической науки, не является на самом деле чисто логическим вопросом, а зависит от содержания законов, относящихся к рассматриваемой области. Поэтому Гемпел был прав, когда утверждал¹, что Решер спутал *N*-объяснение с ретроспективным высказыванием. И этому смешению способствовало одно из утверждений Скривена о тезисе симметрии, которое гласило: «Для того чтобы сделать предсказание, нам нужно установить корреляцию между событием настоящего момента и будущим событием, а для того, чтобы объяснить, нужно установить корреляцию между настоящим и прошлым событиями»².

В согласии с Шеффлером³ Решер высказал критические замечания относительно гемпеловского утверждения о симметрии: «Оно несовместимо с обычаями науки и обычной точкой зрения на понятия объяснения и предсказания», ибо, кроме всего прочего, «только истинные утверждения и являются собственно предметом объяснения, но видно, что с предсказанием дело обстоит не так»⁴. Таким образом, Решер отмечает, что мы объясняем только явления, о которых мы знаем, что они произошли, но мы иногда предсказываем события, которые не произойдут. И в поддержку последнего утверждения относительно «эпистемологической асимметрии» Решер указывает на множество случаев,

¹ C. G. Hempel, *Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation*, Sec. 6.

² M. Scriven, *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*, p. 479.

³ I. Scheffler, *Explanation, Prediction and Abstraction*, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VII (1957), p. 293.

⁴ N. Rescher, *On Prediction and Explanation*, p. 282.

где мы имеем «фактически определенные данные о прошлом на основе следов, находимых в настоящем», но «только вероятные знания о будущем на основе знания настоящего и/или прошлого»¹.

Вопрос, поставленный дополнительным возражением Решера, состоит в следующем: может ли эта эпистемологическая асимметрия опровергнуть тезис Гемпела о симметрии. Чтобы рассмотреть этот вопрос, важно провести различие (что, к сожалению, не удалось сделать Решеру, Баркеру, Хэнсону и Скривену и нанесло значительный ущерб выдвинутым ими тезисам) между следующими двумя совокупностями идей: во-первых, асимметрия между *H*-объяснением и *H*-предсказанием как по отношению к основаниям, на которых мы утверждаем, что наши знания об *объясняемом* являются истинными, так и по отношению к корреляции степени нашего доверия к предполагаемой истинности *объясняемого*, и, во-вторых, асимметрия, если таковая существует, между *H*-объяснением и *H*-предсказанием в плане логического отношения, существующего между *объясняющим* и *объясняемым*. В целях краткости мы будем в дальнейшем говорить о первой асимметрии как асимметрии «доказуемости» *объясняемого*, о второй же будем говорить как об асимметрии «выводимости» *объясняемого*, или об асимметрии вопроса, почему *объясняемое* существует. Учитывая это различие, мы сможем показать, что существование эпистемологической асимметрии в отношении доказуемости *объясняемого* не может опровергнуть тезис Гемпела о симметрии, который относится только к вопросу, почему существует *объясняемое*.

Если бы утверждение Решера о существовании эпистемологической асимметрии понималось как имеющее отношение только к доказуемости *per se* *объясняемого*, оно было бы правильным. Ибо, как мы уже видели в первом разделе данной главы, существуют *весьма надежные* ретроспективные индикаторы, или протоколы, прошлых взаимодействий, но вообще не существует никаких спонтанно вызываемых соответствующих индикаторов, предвещающих будущие взаимодействия. И этот факт имеет важное следствие: если мы можем удостовериться в *доказуемости* или истинности *объясняемого*, относящегося к прошлым взаимодействиям на основе протокола, не привлекая предположе-

¹ N. Rescher, On Prediction and Explanation, p. 284.

ния об истинности того или иного (обычного) *объясняющего*, то никаких предварительных индикаторов вообще нет, а есть только предположения о справедливости соответствующих *объясняющих*, которые можно использовать при рассмотрении доказуемости или истинности *объясняемого*, касающегося будущих взаимодействий. И поскольку теория, лежащая в основе нашей интерпретации протоколов, имеет лучшее подтверждение, нежели многие теории, которые используются в *объясняющих*, существует очень большой класс случаев, где эпистемологическая асимметрия, или асимметрия протоколируемости, имеет место по отношению к доказуемости *объясняемого*. Однако данная асимметрия *доказуемости* не может нанести ущерба иной *симметрии*, которую формулируют Поппер и Гемпел. В той же степени, в которой какое-то *объясняемое*, относящееся к прошлому, может быть доказано постфактум в *H*-объяснении *в силу его объясняющего*, соответствующее *объясняемое*, относящееся к будущему, может быть доказано заранее на основе тех же самых *объясняющих* в *H*-предсказании. Иными словами, вы можете доказать впоследствии некоторое *объясняемое* на основе его *объясняющих* не лучшим образом, чем вы можете доказать его заранее.

Как возражения Баркера на гемпеловскую симметрию, так и критика ее Хэнсоном (1959) оказываются несостоятельными. Эти авторы не смогли установить, что временная асимметрия относится только к доказуемости *объясняемого* и предьявляют это в качестве обвинения против гемпеловского утверждения о том, что здесь имеется временная асимметрия в отношении выводимости *объясняемого*. При этом они ссылаются на случаи, где якобы существует мнимое противоречие между *недоказуемостью объясняемого*, относящегося к будущему, и индуктивной выводимостью соответствующих *объясняемых*, принадлежащих к прошлому. Так, Баркер пишет: «Было бы более правильно говорить об объяснении во многих случаях, где такое предсказание невозможно. Так, например, если пациент обнаруживает все симптомы пневмонии, болеет и умирает, то я могу объяснить его смерть — я знаю, что убило его, — однако я не могу с определенностью предсказать, что он обязательно умрет; ибо обычно исход пневмонии не бывает фатальным»¹. Однако все то, что приводит здесь Баркер,

¹ S. F. Barker, The Role of Simplicity in Explanation, p. 271.

выражается в утверждении, которое вполне совместимо с гемпеловским тезисом симметрии: во многих случаях, каким является и случай с заболеванием пневмонией, существует последующая доказуемость *объясняемого*, опирающаяся на наличие мертвого тела, но нет соответствующей предварительной доказуемости в силу асимметрии спонтанной протоколируемости. Это, конечно, не подтверждает того, что можно с большей убедительностью объяснить факт смерти, о котором достоверно известно из протоколов, ссылкой на более раннюю пневмонию, нежели сделать вывод, предсказывающий смерть в будущем в результате пневмонии, от которой кто-то страдает в настоящий момент. И это объясняется тем, что логическая связь между *объясняющим*, которое подтверждает, что кто-то страдал от пневмонии в *прошлом*, и *объясняемым*, говорящим о зафиксированной смерти больного, столь же индуктивна, как и связь в случае явно предсказательного вывода (*H*-предсказания) о будущей смерти, исходя из *объясняющего*, которое утверждает, что пациент страдает от пневмонии в *настоящее время*.

Могло бы показаться, что ошибке, которую совершил Баркер, утверждая асимметрию *выводимости*, способствовало следующее решение вопроса о различии между *объясняющим*, используемым в его *H*-объяснении случая смерти от пневмонии, и *H*-объяснением, которое он использует с целью соответствующего предсказания: в *H*-объяснении Баркером случая смерти используется *объясняющее*, которое доказывает начало пневмонии в какой-то момент прошлого, равно как и течение болезни в более позднее время, однако дальнейшее условие хода болезни получено из antecedентов соответствующего *H*-предсказания, предложенного им. Следовательно, асимметрия, существующая между двумя случаями, является мнимой.

Теперь становится ясным, что рациональное зерно рассуждений Баркера представляет собой банальное высказывание о том, что в случае пневмонии, равно как и в других случаях, имеется последующая доказуемость *объясняемого*, тогда как предварительная доказуемость отсутствует. И коль скоро установлено, что только асимметрия, которая соответствует случаям типа пневмонии, доказывается на иных основаниях, чем обычные *объясняющие*, при отрицании этой симметрии с точки зрения философии нужно точно сформулировать весь комплекс оснований, на кото-

рые оно опирается, о чем мы и говорили выше. Однако при отрицании тезиса Гемпела о симметрии никаких философских оснований не приводилось.

Аналогичное смещение асимметрии доказуемости и асимметрии *выводимости* лишает убедительности и статью Хэнсона, на которую Баркер ссылается в поддержку своей точки зрения. Предположим, что определенный вид прошлых измерений приводит к частной Ψ -функции, которая затем используется в уравнении Шредингера для H -объяснения еще более ранних событий. Предположим также, что тот же самый вид измерений, производимых в данный момент времени, дает точно такую же Ψ -функцию для подобной системы и что эта функция используется затем для соответствующего H -предсказания более поздних событий того же типа, что и прошлые. Очевидно, что в квантовой механике *логическое отношение* между *объясняющим* (функции Ψ_1 и связанная с ней система распределения вероятностей s_1 в момент t_1) и *объясняемым* (описание частного микрособытия в рамках распределения вероятностей s_1) является в случае H -объяснения не менее статистическим (индуктивным), чем в случае H -предсказания. И эта *симметрия* с точки зрения *статистической выводимости* полностью совместима со следующей асимметрией: достоверность наших знаний о том, что микрособытие специфического вида, входящее в систему s_1 распределения вероятностей, произойдя в прошлом, не имеет никаких двойников в наших знаниях о будущем появлении такого события, поскольку в протоколах имеются только результаты прошлых измерений (взаимодействий).

Поэтому Хэнсон совершенно неправ, используя последнюю асимметрию протоколируемости в качестве основы выведения *псевдопротивоположности* между квантовомеханической *выводимостью* прошлого микрособытия (эта выводимость логически тождественна с выводимостью относительно будущего) и отсутствием *предварительной доказуемости* появления будущего микрособытия. Он говорит: «Любое единичное квантовое явление P ... может быть полностью *объяснено ex post facto*; с помощью хорошо обоснованных законов... квантовой теории можно полностью *понять*, какого именно вида событие произошло. Однако наиболее фундаментальное свойство этих законов заключается, конечно, в том, что *предсказание* такого явления P на основе теоретических принципов совершенно

невозможно»¹. Хэнсон упустил из виду, что асимметрия между последующей и предваряющей доказуемостью, существующая в квантовой механике, никоим образом не способствует асимметрии между *H*-объяснением и *H*-предсказанием в отношении между *объясняемым* и его квантовомеханическим *объясняющим*. И статистический характер квантовой механики проявляется только тогда, когда в совокупности с асимметрией протоколируемости классической физики она способствует временной асимметрии доказуемости *объясняемого*.

Мы видим, что статистический характер квантовомеханической оценки микроявлений совместим с симметрией между *H*-объяснением и *H*-предсказанием не менее, чем *детерминистический* характер механики Ньютона. И этот результат делает несостоятельным утверждение, которое Хэнсон рассматривал как наиболее существенную часть своей статьи 1959 года, посвященной проблеме симметрии, а именно «что существует очень тесная связь между гемпеловской оценкой симметрии между объяснением и предсказанием и логикой ньютоновских «Начал»»².

Нам остается рассмотреть пространную критику Скривеном гемпеловского тезиса. Скривен утверждает, что 1) эволюционные объяснения и объяснения, подобные объяснению пареза, вызванного сифилисом, не удовлетворяют требованиям симметрии, поскольку не допускают соответствующих предсказаний; 2) предсказания, основанные только на *индикаторах* (а не на причинах), такие, например, как предсказания шторма на основании внезапного падения стрелки барометра, не сопровождаются соответствующими объяснениями, поскольку индикаторы ничего не объясняют, хотя и могут способствовать предсказанию (или в других случаях ретроспективному высказыванию). И согласно Скривену, эти предсказания, основывающиеся на индикаторах; показывают, что одна только выводимость *объясняемого* не гарантирует научного понимания его, так что симметрия выводимости не гарантирует симметрии между объяснением и предсказанием в смысле научного понимания.

Сейчас мы проанализируем несколько примеров, приведенных Скривеном в поддержку своей точки зрения.

¹ N. R. Hanson, On the Symmetry Between Explanation and Prediction, pp. 353—354.

² Ibid., p. 357.

I. Эволюционная теория

Он ссылается на эволюционную теорию с целью доказать, что «удовлетворительное объяснение прошлого возможно даже в том случае, когда невозможно предсказание будущего»¹.

Эволюционная теория на самом деле позволяет привести убедительные примеры эпистемологической асимметрии доказуемости. И это становится возможным благодаря двум положениям, вытекающих из раздела А данной главы: первое — универсальная роль, которую играют в эволюции взаимодействия, приводит к асимметрии протоколируемости. И эта асимметрия входит не только в доказуемость *объясняемого*. В случаях когда *H*-предсказание основывается на *объясняющих*, содержащих в качестве antecedентов ссылки на *будущие* взаимодействия, существует еще и асимметрия доказуемости между *H*-предсказанием и *H*-объяснением по отношению к *объясняющим*. И второе, наличие биологических свойств в том смысле, что даже если бы все законы были строго *детерминистическими*, появление этих свойств не могло бы быть предсказано раньше, чем стали бы известны эти свойства, исходя из законов, которые могут быть открыты человечеством. Таким образом, теория эволюции знакомит нас с прошлыми биологическими изменениями, вызванными еще более ранними взаимодействиями, последние же представляют собой последующие доказуемые положения, опирающиеся на существующие в настоящее время протоколы. И эти прошлые взаимодействия могут способствовать объяснению эволюционных изменений. Однако логическое отношение между *объясняющими* и *объясняемыми* обеспечивает полную *временную симметрию* этого объяснения. Следовательно, данная ситуация подтверждает асимметрию только в следующем безобидном смысле: поскольку будущие взаимодействия не могут быть предварительно доказаны рациональным образом (так как относительно их нет никаких предварительных протоколов), не существует никакой предварительной доказуемости тех будущих эволюционных изменений, которые явятся результатом будущих взаимодействий.

¹ M. Scriven, *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*, p. 477.

Пытаясь доказать наличие асимметрии, опровергающей тезис Гемпела, с помощью анализа случаев невыживания с позиций эволюционной теории, Скривен пишет:

Имеются... хорошие основания [внутренняя непредсказуемость] для утверждения, что объяснение и предсказание даже в принципе не имеют одинаковой формы. Наконец, вообще невозможно перечислить все исключения, противоречащие утверждению, например, относительно фатальных следствий движения потока лавы, и поэтому мы обязаны изложить их в вероятностной форме; это приводит к элиминированию из предсказаний той определенности, которую имеет объяснение найденных в лаве окаменелостей¹.

Однако все возможные выводы Скривена в данном случае ограничиваются положением, что существует только *вероятностная* связь между движением потока лавы и гибелью определенных организмов, результатом чего является отсутствие у предварительной *доказуемости* именно той степени определенности, которой обладает последующая доказуемость.

Скривен вообще ничего не доказывает, выдвинув предположение о том, что *выводимость предсказания* в данном случае ни на йоту не менее определена, чем выводимость соответствующего последующего объяснения. Ибо в чем заключается большая степень определенности последующего объяснения? Только в доказуемости *объясняемого*, но не в характере логических отношений между *объясняющим* (поток лавы) и *объясняемым* (смерть некоторых организмов). Какой же должен быть вынесен приговор в этой связи утверждению Скривена о наличии асимметрии между *определенностью* предсказания и последующим объяснением? Мы видим, что это утверждение несостоятельно из-за смешения следующих двух радикально отличных друг от друга типов асимметрии: во-первых, различие в степени определенности (категоричности) наших знаний о действительном наличии *объясняемого* и утверждение о непригодности окружающей обстановки, которая выражается *объясняющим*, и, во-вторых, различие, так сказать, в «степени выводимости» *объясняемого* из *объясняющего*.

С такими же трудностями сталкивается анализ случая биологического выживания, предлагаемый Скривеном, который оценивается из соответствия организма окружающей среде. Он говорит:

¹ M. Scriven, Explanation and Prediction in Evolutionary Theory, p. 480.

Совершенно очевидно, что никакие характеристики не могут рассматриваться как показатель «причастности» ко всему окружению... Мы не можем предсказать, какие организмы выживут, и можем предсказать только, какие изменения произойдут в окружающей среде. Но и для таких предсказаний мы имеем в своем распоряжении слишком мало средств, чтобы выполнить их с большей степенью точности...¹ Однако эти трудности предсказания не означают, что идея приспособленности как фактора выживания теряет всю свою *объясняющую* силу... Животные, которые могут плавать, лучше приспособлены для выживания при случайных и неожиданных наводнениях, затопляющих область их обитания, и в некоторых подобных случаях именно данный фактор объясняет их выживание. Естественно, мы могли бы заранее сказать, что *если бы* произошло наводнение, то, скорее всего, они бы выжили. Назовем это высказывание гипотетическим вероятностным предсказанием. Однако гипотетические предсказания не имеют какой-либо ценности для действительных предсказаний за исключением того, насколько предсказуемы условия, упомянутые в гипотетическом суждении... Следовательно, будут существовать случаи, когда мы можем *объяснить, почему* выжили определенные животные и растения, даже если мы не могли *предсказать*, что выживут именно они².

Конечно, следовало бы полностью согласиться со Скривеном, если бы он удовлетворился тем, что существуют случаи, где мы можем «объяснить, почему» и не можем «предсказать, что». Однако он сочетает эту верную формулировку с неверным предположением, что случаи последующего объяснения выживания того или иного вида животных в силу их приспособленности дают основу для отрицания гемпеловского тезиса о симметрии. Коль скоро мы признаем всеобщий характер *взаимодействий*, мы можем сформулировать правильный вывод относительно наблюдений Скривена и сказать: поскольку будущие приспособ-

¹ Изменения окружающей среды, на которые ссылается Скривен, по своей природе являются *взаимодействиями* потенциально открытой системы, и именно это общее свойство определяет их роль и делает невозможным предсказать, какой вид животных может выжить.

² M. Scriven, *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*, p. 478. В статье «Cause and Effect in Biology» («Science», Vol. CXXXIV [1961], p. 1504) зоолог Е. Мейер не обратил внимания на ошибочность утверждения Скривена, которую отметили мы, и охарактеризовал его как автора, который «совершенно правильно подчеркивает, что одним из наиболее важных вкладов, которые сделала в философию теория эволюции, является доказательство независимости объяснения от предсказания». Мейер основывает свой вывод, между прочим, на утверждении, что «теория естественного отбора может описывать и объяснять явления с соответствующей точностью, но не может делать надежных предсказаний».

ленность и выживание зависят от будущих взаимодействий, которые не могут быть предсказаны на основании имеющейся в данный момент информации, тогда как приспособление и выживание в прошлом зависят от прошлых взаимодействий, о которых *можно* сделать ретроспективные выводы на основании той же самой информации, постольку существует эпистемологическая асимметрия между *H*-объяснением и *H*-предсказанием в отношении доказуемости как *объясняющего*, в antecedенте которого утверждается наличие приспособленности, так и *объясняемого*, где antecedент констатирует сам факт выживания.

Допуская, что это утверждение истинно и достаточно ясно, мы должны пойти дальше и сказать, что не менее истинны следующие соображения (которые Скривен может допустить только ценою признания несостоятельности своей оценки асимметрии в случае с потоком лавы): возможность сделать научный вывод на основании причины, а следовательно, и наше понимание того, *почему* выжили животные данного вида, обеспечивается таким *объясняющим*, которое содержит в качестве antecedента условие, что данные животные могут выплыть из области обитания во время случайного и неожиданного наводнения. Этот вывод о выживании в случае *будущего* наводнения ни на йоту не будет более вероятностным (то есть *менее* убедительным), чем в случае прошлого наводнения. Ибо если логическая связь *объясняющего* (приспособленность к специфическим неожиданным условиям) с *объясняемым* (факт выживания) оказывается в случае будущего только вероятностной, то почему она будет менее вероятностной в случаях прошлого? Очевидно, что индуктивная выводимость последующего объяснения, по существу, здесь равноправна с выводимостью предсказания, опирающегося на приспособленность как на причину. Но почему тогда Скривен считает возможным говорить о «вероятностном предсказании» *будущего* выживания, не упоминая *при этом также* и о «вероятностном объяснении» прошлого выживания? Видимо, основанием этого утверждения является не что иное, как *псевдопротиповоречие* между *отсутствием* предварительной доказуемости *объясняемого* (что выражается словом «вероятность» в выражении «вероятностное предсказание») с существующей индуктивной выводимостью последующего объяснения *объясняемого*. И правдоподобие этого псевдопротиповоречия вытекает из молчаливой апелляции к *bona fide* асимметрии

между предварительной и последующей доказуемостью *объясняемого*, то есть такой асимметрии, которая ничего не дает для опровержения тезиса Поппера — Гемпела.

II. Парез

В дальнейшем, стремясь обосновать свое отрицание тезиса Гемпела, Скривен говорит:

Мы можем объяснять, но не предсказывать всякий раз, когда мы имеем высказывание следующего вида: «Единственная причина X есть A » (I), например, «единственная причина — сифилис». Отметим, что это вполне совместимо с утверждением, что за A часто не следует X . Сифилис очень редко переходит в парез (II). Следовательно, когда наблюдается A , мы можем предсказать, что осуществление X более вероятно, чем когда A не наблюдается, однако оно все же еще маловероятно. Так, мы должны для убедительности еще предсказать, что этого *не* случится. Однако, если это произошло, мы можем апеллировать к (I), доказывая и обосновывая наше объяснение... Следовательно, событие, которое не может быть предсказано на основании некоторой совокупности хорошо подтвержденных высказываний, может, если оно произошло, быть объяснено путем ссылки на них¹.

Короче говоря, аргументация Скривена состоит в том, что хотя уже наступивший парез может быть объяснен ссылкой на то, что его причиной является сифилис, все же никто не может предсказать наступление пареза на основании заболевания сифилисом, который может быть причиной возникновения в будущем пареза. К этому он добавляет следующий комментарий.

Предположим на время, что мы включаем подтверждение объяснения или предсказания в само объяснение или предсказание, как это делает Гемпел. На основании общего закона и условий, содержащихся в антецеденте, мы можем сделать дедуктивный вывод, что в будущем произойдет определенное событие. Это дедукция предсказания. На основании одного из высказываний о том, что единственно возможной причиной Y есть X и утверждения, что Y произошло, мы можем сделать вывод не только о том, что должно было также случиться и X , но и сформулировать высказывание, что причиной Y в данном случае является X . Я рассматриваю это как выразительный пример дедукции и объяснения. Отметим, однако, что сделанный нами дедуктивный вывод вовсе не является описанием события, которое нужно объяснить, то есть не является *объясняемым* в смысле Гемпела и Оппенгейма. Напротив, мы имеем специфическое причинное утверждение. Это верный путь

¹ M. Scriven, *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*, p. 480.

четкого описания одного из различий между объяснением и предсказанием с помощью ссылки на высказывание, где это различие очевидно. Когда мы объясняем Y , мы не обязательно должны иметь возможность сделать дедуктивный вывод о том, что произошло Y , ибо мы уже символически знаем об этом. О чем мы можем сделать вывод (если дедукция законна), так только о том, что Y есть *результат* определенного X , и для этого, конечно, нужен общий закон, необходимый для предсказания¹.

Мы сейчас покажем, что интерпретация Скривеном таких случаев, как последующее объяснение возникновения пареза вследствие сифилиса, страдает теми же самыми недостатками, как и его анализ примеров из теории эволюции: *хотя и имеется некоторая асимметрия, Скривену не удалось установить ее точное место, и эта неудача привела его к ошибочному предположению, что тезис Гемпела является несостоятельным, поскольку такая асимметрия существует.*

Какой вывод можно сделать из данного частного случая с парезом, равно как и из предложения, в котором говорится, что единственной причиной пареза является сифилис, где «причина» понимается, согласно Скривену, как «совокупность необходимых условий»? Скривен правильно утверждает, что из этого следует как то, что данный паралитик болен сифилисом, так и то, что в данном специфическом случае сифилис был причиной в особом смысле термина «причина». И затем Скривен продолжает утверждать, будто бы данный случай вопреки Гемпелу устанавливает возможность утверждения, что сифилис *явился причиной* пареза, и в то же время не имеет права сказать, что сифилис *будет причиной пареза*. Однако Скривен упускает из виду, что наша неспособность сделать оба эти утверждения вовсе не достаточна для дискредитации тезиса Гемпела, который относится к временной асимметрии *выводимости объясняемого из объясняющего*. Недостаточность аргументации Скривена становится очевидной с того момента, когда мы осознаем, почему нельзя сказать, что сифилис

¹ M. Scriven, Comments on Professor Grünbaum's Remarks at The Wesleyan Meeting, «Philosophy of Science», Vol. XXIX (1962), pp. 173—174. Более поздние критические замечания Скривена относительно моих взглядов см. в его «The Temporal Asymmetry of Explanations and Predictions», в: В. Baumrin (ed.), Philosophy of Science, New York: John Wiley and Sons, 1963, Vol. I, pp. 97—105.

«будет причиной» пареза, хотя и имеем основания утверждать, что он «явился причиной» пареза.

В каждом из предложений, фиксирующих высказывание «явился причиной» и «будет причиной» соответственно, выражаются следующие два утверждения: во-первых, о существовании *объясняемого* (парез) *per se*, и, во-вторых, утверждение о существовании причинных отношений (в смысле случайного наличия необходимого условия) между *объясняющим* (сифилис) и *объясняемым* (парез). Таким образом, в нашей терминологии утверждение «сифилис *будет причиной* того, что субъекта *Z* разобьет парез», должно быть сформулировано в следующем виде: «Субъекта *Z* разобьет парез *и* причиной этого будет сифилис», а утверждение «сифилис *явился причиной* того, что субъекта *K* разбил парез», перейдет в утверждение «субъекта *K* разбил парез, а причиной этого оказался сифилис». И решающий пункт состоит здесь в том, что поскольку наступление пареза в прошлом может быть индуктивно *выведено* из еще более раннего заболевания сифилисом, то точно такие же выводы можно сделать и по отношению к будущему наступлению пареза. Ибо симметрия во времени причинного отношения, или связи между сифилисом и парезом, является неопровержимой именно потому и в той степени, в которой сифилис является и будет являться в будущем необходимым условием наступления пареза! Следовательно, единственная *bona fide* асимметрия, которая действительно существует, основана на протоколе, однако она не имеет отношения к *доказуемости объясняемого per se* и не относится к *выводимости* пареза из сифилиса. Первая безобидная асимметрия такова, что запрещает нам делать предсказательное утверждение «будет причиной», позволяя в то же время делать соответствующее утверждение «была причиной», имеющее характер последующего объяснения. И именно этот факт разрушает основу, на которой Скривен отрицает тезис Гемпела. Ибо Гемпел и Оппенгейм не утверждают, что *объясняемое*, которое может быть предметом последующего доказательства, всегда может также быть предметом и предшествующего доказательства; они утверждают только, что *объясняющие* никогда не дают последующего объяснения более исчерпывающего и более убедительного, чем это имеет место в отношении предсказания, что существует полная симметрия между *выводимостью* последующего объяснения

и *возможностью сделать* предсказательный вывод из данных *объясняющих*. Поэтому они с Поппером совершенно правы, предлагая в социальных науках проверять адекватность *объясняющих* на основе того, сочетается ли выводимость последующего объяснения данного *объясняемого* с соответствующей предсказательной выводимостью, будь то индуктивная *выводимость* или дедуктивная.

В чем состоит смысл замечания Скривена: при последующем объяснении пареза нам не нужно *выводить объясняемое* из *объясняющего* à la Гемпел и Оппенгейм, поскольку мы об этом уже знаем из существующих протоколов (наблюдений) того или иного вида, тогда как на самом деле нам нужно вместо этого сделать вывод, что событие-*объясняемое* произошло в *результате* причины (необходимое условие), которая описывается *объясняющим*, но этот вывод не позволяет нам предсказать (то есть предварительно доказать) событие-*объясняемое*? Это замечание Скривена доказывает только, что имеется основанная на протоколах последующая доказуемость пареза, но нет соответствующей предварительной доказуемости.

Короче говоря, обращение Скривена к случаю с парезом, подобно его ссылкам на эволюционную теорию, обусловлено тем, что он смешивает *эпистемологическую* асимметрию с *логической*.

В ответ на это обвинение Скривен говорит, что в своих статьях, например при обсуждении принципа действия барометра, который мы рассмотрим ниже, он потратил много усилий на установление различий между правильной аргументацией, основанной на истинных посылках, которая квалифицируется как научное объяснение, и такой аргументацией, которую нельзя квалифицировать подобным образом. Этот ответ не имеет отношения к делу, поскольку возражения Скривена против отождествления (смещения) аргументов, основанных на верных предпосылках, которые являются и справедливыми и доказательными, с теми, которые справедливы, но недоказательны, еще не доказывает того, что он проводил следующие различия, которые являются в данном случае решающими: 1) различие (асимметрия) в доказуемости либо вывода (*объясняемого*), либо посылки (*объясняющего*) и 2) различие (асимметрия) в выводимости *объясняемого* из его *объясняющего*. Хотя различие, которое проводилось Скривеном, не позволяет смягчить обвинение в путанице, которое было

выдвинуто нами в его адрес, оно может способствовать проверке правильности его утверждений.

Приступая к рассмотрению этого вопроса, мы прежде всего остановимся на примерах, которые он приводит и где убедительные дедуктивные аргументы *не имеют* предсказательной силы, на основе чего он отрицает их принадлежность к объяснительным аргументам. И затем мы завершим наше опровержение критики Скривеном тезиса Гемпела обсуждением следующего предлагаемого им же примера, а именно справедливого в дедуктивном отношении *предсказательного* вывода о приближении шторма на основании внезапного падения стрелки барометра, который он приводит, чтобы доказать, что такие верные в дедуктивном отношении выводы нельзя было бы квалифицировать как последнее *объяснение* шторма.

Все, видимо, согласны в том, и мы разделяем эту точку зрения, что никакое *научное понимание* не обеспечивается дедуктивным выводом *объясняемого* из самого себя даже в том случае, если такая дедукция законна в логическом отношении. Следовательно, можно считать доказанным, что класс справедливых дедуктивных аргументов, вывод из которых представляет собой *объясняемое*, соотношенное с тем или иным событием, шире, чем класс справедливых дедуктивных аргументов, обеспечивающих научное понимание события-*объясняемого*. Однако совершенно другое дело утверждать, как это делает Скривен, что никакое *научное понимание* не обеспечивается теми справедливыми дедуктивными аргументами, которые обычное употребление слов не позволяет нам назвать «объяснениями». Скривен приводит следующий пример, который был предложен Бромбергером и обсужден Гемпелом¹: высоту флагштока можно вывести дедуктивно из длины его тени и измерения угла подъема Солнца над горизонтом, вычисленного по принципам геометрической оптики, однако о высоте флагштока нельзя было бы на этом основании сказать, что тем самым она «объяснена». Или возьмем случай прямолинейного треугольника в физическом пространстве, для которого предполагается справедливой евклидова геометрия. Пусть даны два угла 37° и 59° соответственно. Тогда можно сделать дедуктивный вывод, что третий угол равен 84° , одна-

¹ См.: C. G. Hempel, *Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation*, Sec. 4.

ко, согласно Скривену, это не будет объяснением величины третьего угла.

Что доказывают случаи с флагштоком и углом в отношении справедливых дедуктивных аргументов, обеспечивающих научное понимание, и тех, которые, согласно обычному словоупотреблению, должны были бы рассматриваться как «объяснения»? Мы утверждаем, что, хотя они и отличны в одном отношении от того, что мы обычно называем «объяснениями», все же упомянутые выше обоснованные дедуктивные аргументы, которые позволяют вычислить высоту флагштока и величину третьего угла, обеспечивают научное понимание не менее, чем это делают «объяснения». Основания для подобных соображений, на наш взгляд, следующие.

Например, в случае с флагштоком *объясняемое* (устанавливаемая высота флагштока) может быть выведено из предпосылок двух разных видов: во-первых, из *объясняющих*, относящихся к обычному типу положений геометрической оптики, законы которой являются законами сосуществования, а не последовательности, предшествующие событиям не играют в *объясняющих* никакой роли, и, во-вторых, из *объясняющих*, которые содержат причинно предшествующие события и законы последовательности, относящиеся к временному генезису флагштока как изделию человеческих рук. Однако является ли это различие между типами предпосылок, из которых дедуктивно может быть выведено *объясняемое*, основой для утверждения, что *объясняющие*, относящиеся к типу законов сосуществования, обеспечивают меньшую степень *научного понимания*, нежели *объясняющие*, которые относятся к типу законов последовательности? Наш ответ гласит: конечно, нет. И мы поспешим отметить, что различие между доаксиоматизированной и аксиоматизированной геометрией выражает меру научного понимания, которая обеспечивается геометрической оценкой, полученной в случаях с флагштоком и углом на основе закона сосуществования.

Однако не является ли в конечном счете ошибочной точка зрения обычного словоупотребления, согласно которой применение термина «объяснение» законно только в тех случаях, где *объясняющие* используют причинные антецеденты и законы последовательности? На это мы ответим: данный *терминологический* факт не имеет отношения к делу, поскольку не поучителен в философском отношении.

Вернемся все же к описанным Скривеном случаям дедуктивно достоверных предсказательных выводов, которые с его точки зрения лишают убедительности тезис Гемпела, поскольку не могут рассматриваться как последующие объяснения.

III. Барометр

Скривен пишет:

Когда мы делаем предсказание, то, по сути дела, ограничиваемся утверждением, что в определенное время произойдет такое-то событие или сложится такое-то состояние дел. В объяснении мы ищем причину, то есть событие, которое произошло не только раньше, но и находится в специфическом отношении к другому событию. Грубо говоря, предсказание требует только корреляции, объяснение же — чего-то большего. Это различие приводит к следующему выводу, а именно: возможность делать предсказания на основании индикаторов несколько иная, чем на основании причины, например предсказание шторма на основании падения барометрического давления. Очевидно, мы не можем сказать, что падение давления в нашем доме есть причина шторма, оно только предсказывает его. Так, мы можем иногда предсказывать то, чего не можем объяснить¹.

Другим случаем, относящимся к типу барометра, является, скажем, предсказание заболевания свинкой по ее симптомам или предсказание изменения погоды по ревматическим болям.

Когда мы делаем предсказательный вывод относительно шторма из внезапного падения барометра, мы делаем вывод о следствии некоторой частной причины из другого (ранее) доказанного следствия этой же самой причины. Следовательно, вывод о шторме делается не из причины шторма, а только из индикатора ее. И закон, связывающий внезапные падения барометра со штормами, выражает только связь индикаторного типа, но не связь причинную.

Суть проблемы состоит в следующем: мы, видимо, не приходим к научному пониманию явления на основе его дедуктивной выводимости из индикаторных законов (вместе с соответствующими предваряющими условиями); научным считается понимание, которое обеспечивается только такими *объясняющими*, которые ссылаются на одну или большее количество причин. Если бы это было так, тогда Скривен мог бы утверждать, что хотя сама по себе выводимость

¹ M. Scriven, *Explanation and Prediction in Evolutionary Theory*, p. 480.

Данного шторма из частного внезапного падения стрелки барометра и является, по общему признанию, симметричной во времени, в позитивном научном истолковании никакой временной симметрии не существует. Из обсуждения примера с флажштоком становится ясным, что терминологическая практика ограничения термина «объяснение», но не термина «предсказание» случаями, где *объясняющие* ссылаются на общие или частные причины, а не только на индикаторы, не решает проблемы: может ли аргументация подобного рода, позволяющая сделать предсказание о будущем событии-*объясняемом* (шторме) из предпосылок индикаторного типа, обеспечить какое бы то ни было научное понимание, и если да, то может ли аргументация подобного рода получить столь положительную оценку в смысле научного понимания соответствующего прошлого события (шторма).

На эти вопросы, конечно, не отвечают отрицательно, справедливо указывая на то, что закон, связывающий причину шторма с самим штормом, может послужить *основанием* и для менее строгого закона-индикатора. Этот факт показывает только, что причинный закон может объяснить как шторм, так и закон-индикатор, но не доказывает, что закон-индикатор не может обеспечить никакого научного истолкования возникновения данного шторма. Чтобы добраться до существа проблемы, мы должны спросить, в чем состоит отличие причинного закона от индикаторного, которое позволяет утверждать, как это делает Скривен, что принадлежность к индикаторным законам не обеспечивает научного понимания, тогда как принадлежность к причинным законам обеспечивает.

Следует отметить, что причинный закон, который используется в *объясняющем* и который сам не выводится из некоего более общего причинного закона, является *логически* совершенно *случайным* как чисто индикаторный закон, который точно так же не выводится из причинного закона, но используется как предпосылка для дедуктивного вывода *объясняемого* (либо в предсказании, либо в послесказании, то есть в смысле *H-объяснимости*). Тогда на каком основании можно утверждать, что принадлежность *объясняемого* (предсказательного или послесказательного) к причинным законам предпочтительнее, чем принадлежность его к чисто индикаторным законам? Оправдание этого предпочтения покоится, видимо, не только на большей общности причин-

ного закона; оно, очевидно, опирается на большее разнообразие эмпирических случайностей, которые должны быть исключены *ceteris paribus* (при прочих равных условиях) из списка соответствующих условий, при которых имеет силу индикаторный закон, по сравнению с разнообразием таких случайностей, которые относятся к соответствующему причинному закону¹. Однако это различие как в степени общности, так и в степени разнообразия случайностей

¹ Например, кроме всех тех вещей, которые могут воспрепятствовать возникновению шторма, когда существует их общепризнанная общая причина (понижение давления в значительном районе), имеется множество других случайностей, при которых наблюдается внезапное падение барометра в одном месте имеет своим результатом *отсутствие* шторма. Внезапное падение барометра может быть следствием местного понижения давления, вызванного особой причиной (установкой) в непосредственном пространственном окружении барометра. И следовательно, в этом случае внезапное падение давления не означало бы падения давления в достаточно обширном районе, которое вызывает шторм. Точно так же появление какого-либо признака, который может быть истолкован как симптом свинки, не означает еще наличия фильтрующегося вируса, который вызывает это заболевание; напротив, эти предполагаемые симптомы могут возникнуть в результате какой-либо из множества иных причин, ни одна из которых не вызывает появления свинки. Если же симптомы свинки дают надежные основания для последующего вывода о начале этой болезни, то следует исключить другие виды причин, *помимо* тех, которые входят *ceteris paribus* в описание закона, выражающего причину заболевания свинкой.

Хотя различие между причинным законом (*C*-законом) и индикаторным законом (*I*-законом) кажется в примерах Скривена достаточно ясным, профессор Ричард Раднер в частной переписке высказал мысль, что в свете хорошо известных трудностей, связанных с характеристикой *C*-закона, как такового, следовало бы сделать хитроумное предположение, что вообще ясное и логичное различие между *C*-законами и *I*-законами уже получено. В случаях с барометром и со свинкой мы отличаем начальную общую причину от чистого индикатора, указывая, что индикатор сам является частным следствием начальной общей причины. Если трудности, связанные с общей характеристикой *C*-закона, действительно состоят в том, что данный критерий различения не работает и что мы не можем найти никакой другой убедительный критерий, тогда лишь замечания относительно большей предпочтительности высказывания о принадлежности *объясняемого C*-законам, а не *I*-законом потеряют свою всеобщность и будут ограничены частными примерами, подобными тем, которые приводятся Скривеном. Ясно, что аргументация Скривена зависит здесь именно от утверждения о выводимости различия между *C*-законами и *I*-законами. И если бы оказалось, что такое различие на самом деле несостоятельно, то этот факт был бы достаточным для опровержения аргументации Скривена.

не доказывает, что индикаторный закон не приводит к научному истолкованию явления, которое может быть соотнесено с ним, он только показывает, насколько можно судить, что имеет смысл говорить о степени научного понимания. И этот вывод, по существу, совместим с утверждением, которого требует тезис асимметрии, а именно что барометрический индикаторный закон обеспечивает столь же позитивное научное истолкование как прошедшего, так и будущего шторма, который им предсказывается.

Я думаю, мне удалось доказать, что в отношении тезиса о симметрии Гемпел *ab omni mevo vindicatus* (защищен от всех недостатков)¹.

Г. Дискуссия между механицизмом и телеологией

Результаты нашего обсуждения временной асимметрии протоколируемости имеют решающее значение для спора между механицизмом и телеологией.

Под механицизмом мы понимаем философский тезис, согласно которому все объяснение должно происходить только *a tergo* (сзади), то есть что события, происшедшие в момент времени t , могут быть объяснены *только* путем ссылки на *более ранние* события и *не могут быть объяснены* путем ссылки на более поздние². А под телеологией мы подразумеваем тезис, который можно охарактеризовать скорее как обратный механицизм, а не противоречащий ему: все явления, относящиеся к определенной области и происшедшие в момент времени t , должны пониматься только через ссылку на более поздние явления. Отметим, что при таком понимании как механицизм, так и телеология могут быть ошибочными.

¹ Полагая (ошибочно), что он очистил Евклида от всех недостатков, Саккери (1667—1733) опубликовал в 1733 году книгу под названием «Euclides ab omni paevo vindicatus».

² Более слабой версией механицизма может быть теория о том, что все события можно понять путем ссылки на более ранние. Этот тезис допускает, что понимание может быть достигнуто также путем ссылки на более поздние события. Эта более слабая и менее влиятельная версия механицизма, хотя она также несовместима с телеологией, не является, однако, тезисом, оценка которого проясняется асимметрией протоколируемости. Поэтому здесь мы обсуждаем только более сильную, хотя и более уязвимую версию механицизма.

В нашей посленьютоновской эпохе существует вводящее в заблуждение несоответствие в употреблении термина «механицизм» как названия тезиса о монополии а тегго объяснений, ибо с помощью *симметричных во времени* законов ньютоновой механики состояние замкнутой механической системы в момент времени t может быть выведено из состояния *более позднего*, чем t (то есть о нем можно сделать *ретроспективное высказывание*), столь же успешно, как и из состояния *более раннего*, чем t (то есть о нем можно сделать *предсказание*). Вместо того чтобы служить прототипом механистического объяснения в философском смысле, явления, описываемые симметричными законами ньютоновой механики, составляют область, по отношению к которой как механицизм, так и телеология ошибочны, а тем самым спор между ними представляет собой псевдодискуссию. С более общей точки зрения этот спор является псевдодискуссией и по отношению к любой области, представленной эволюцией замкнутых систем, подчиняющихся законам, симметричным во времени, будь они детерминистическими или статистическими.

Однако существует широкий класс явлений, по отношению к которым механицизм является истинным. И можно предположить, что молчаливая ссылка на этот частный класс явлений придает правдоподобие тезису о неограниченной справедливости механицизма: следы, или метки, взаимодействий, существующие в момент времени t в системе, по существу, замкнутой, оцениваются с научной точки зрения как результаты более ранних взаимодействий, или возмущений, этой системы, именуемых «причинами», а не как результаты более поздних взаимодействий этой системы. Так, шрам на теле того или иного лица мы объясняем тем, что оно в прошлом получило рану, но не утверждаем, что оно получит рану в будущем.

Поэтому в свете продемонстрированной ограниченности справедливости механицизма мы должны рассматривать как слишком сильное следующее утверждение Рейхенбаха: «Мы заключаем: если мы определим направление времени обычным образом, для телеологизма не останется места и только причинность будет служить основанием для плодотворного объяснения»¹.

¹ Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 209—210.

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ «ТЕЧЕНИЕ» ВРЕМЕНИ
ИЛИ «СТАНОВЛЕНИЕ» ВО ВРЕМЕНИ?

Утверждают, что время, кроме присущих ему измеримых интервалов и анизотропии, характеризуется *мимолетностью* и *непрерывным движением* (transiency) настоящего, которое часто называют «течением», или «прохождением».

В самом деле, говорят, что «*прохождение времени...* является самой сутью понятия»¹. Поэтому мы намереваемся посвятить эту главу рассмотрению гарантий, которых можно требовать от этого непрерывного движения настоящего с точки зрения существующих физических теорий.

С точки зрения здравого смысла истинная сущность времени состоит в том, что события случаются теперь или же являются прошлыми или будущими. Более того, события должны меняться в зависимости от их принадлежности к будущему или настоящему. Наше обыденное употребление грамматических времен кодирует наш опыт, согласно которому любое частное настоящее замещается другим, событийное содержание которого «приходит», таким образом, «в бытие». Именно это случаемое *теперь*, или приход в бытие, первоначально будущих событий и их последующий переход в прошлое и называется «становлением», или «прохождением». Таким образом, подразумевая ссылку на события *настоящего*, становление подразумевает нечто большее, чем происходящее в различные моменты времени, упорядоченного часами. Прошлое и будущее могут быть охарактеризованы как то, что происходит соответственно

¹ Дж. У и т р о у, Естественная философия времени, стр. 293.

до и после настоящего. Поэтому мы сосредоточим свою оценку становления на статусе настоящего, или теперь, как атрибуте событий, с которыми мы сталкиваемся в сознании на уровне восприятий.

А. Проблема зависимости становления от сознания

Допуская, что становление является наиболее рельефным свойством нашего осознания времени, мы задаем вопрос: *должно* ли поэтому становление быть также и свойством временного порядка физических событий *независимо* от нашего осознания их, как это полагает точка зрения здравого смысла? А если нет, то существует ли в рамках физической теории *per se* нечто такое, что поддерживало бы этот вывод здравого смысла?

Очевидно, что само становление физических событий в нашем осознании времени не гарантирует того, что становление обладает статусом независимости от сознания. Цветовые свойства в обыденном смысле, например, только *кажутся* свойствами, присущими физическим объектам независимо от нашего осознания их, но они должны быть именно таковыми согласно здравому смыслу. И все же физическая теория утверждает, что они являются качествами, зависящими от сознания, подобно вкусовым ощущениям сладости или кислоты. Конечно, если физическая теория утверждает, что вопреки здравому смыслу становление не есть свойство временного порядка физических событий в отношении более позднего или более раннего, тогда более общая научная и философская теория должна подвергнуть становление как важную характеристику нашего осознания *временных отношений* физических и психических событий соответствующему анализу.

В данной главе мы намереваемся выяснить статус становления во времени, рассмотрев оба поставленных нами вопроса. Ясно, что оценка становления, которая позволила бы дать ответ на эти вопросы, *не* представляет собой анализа того, что *подразумевает* человек, придерживающийся точки зрения здравого смысла, когда он говорит, что физические события относятся к настоящему, прошлому или будущему; напротив, такая оценка исходит из того, как эти приписываемые свойства должны быть отражены в рамках теории, которая должна была бы вытеснить наив-

ную в научном отношении точку зрения здравого смысла. То, что точка зрения здравого смысла на самом деле является наивной в научном отношении, становится очевидным из следующего факта. В момент t оба из следующих двух физических событий квалифицируются, согласно этой точке зрения, как происходящие «теперь», или «принадлежащие к настоящему»: (i) вспышка звезды, которая произошла за несколько миллионов лет до момента t , но которую впервые увидели на Земле в момент t , (ii) вспышка молнии, происшедшая только за долю секунды до t и наблюдаемая в момент t . Если последует возражение, что современный здравый смысл *начал* признавать конечный характер скорости света, то на это можно ответить, что здравый смысл ошибается по крайней мере в том, что связывает абсолютную одновременность с моментом «теперь».

Временные отношения раньше (до) и позднее (после) могут быть установлены между двумя событиями *независимо* от мимолетного «теперь» и какого-либо сознания. С другой стороны, разделение событий на прошлые, настоящие и будущие, присущее становлению, требует соотнесения с выражаемым наречием атрибутом «теперь» так же, как и с отношением «раньше» и «позже». Следовательно, проблема зависимости становления от сознания в свою очередь зависит от статуса, выражаемого наречием атрибута «теперь». И в такой ситуации утверждение о том, что становление зависит от сознания, *не равносильно* утверждению, что существование для физических событий отношения предшествования во времени зависит от сознания. Не равносильно оно также и утверждению, что простое осуществление событий, происходящих около различных последовательно расположенных в пространстве часов, зависит от сознания.

При ясном понимании этих обстоятельств мы можем сформулировать наш тезис следующим образом: становление зависит от сознания потому, что оно не является атрибутом физических событий *per se*, но требует осуществления определенного *концептуального осознания переживаний* происходящих физических событий. Доктрина, согласно которой становление зависит от сознания, ошибочно называется «теорией блок-вселенной» (block universe). Поэтому нам хотелось бы подчеркнуть различие между принципами этой доктрины и серьезным непониманием ее критиками, с одной стороны, и довольно ошибочными предположениями,

к которым приводят метафоры, используемые ее сторонниками,— с другой. После того как мы изложим наши доводы в пользу утверждения о зависимости становления от сознания, мы постараемся защитить это утверждение против главных возражений, выдвигавшихся против него.

Б. Различие между становлением во времени и независимой от сознания анизотропией времени

Чтобы рассмотреть эти различные проблемы, избегая возможной путаницы, мы должны провести резкое различие между следующими двумя вопросами: (i) *испытывают ли становление* физические события независимо от какого-либо концептуального осознания их осуществления, и (ii) существуют ли какие-либо физические или биологические процессы, которые являются *необратимыми* в силу законов природы и/или *де-факто* господствующих граничных условий?

Сначала мы покажем, как получается отождествление этих двух вопросов, а затем объясним, почему их отождествление, несомненно, является ошибочным. Второй вопрос, который касается необратимости, часто формулируется в виде вопросительного предложения, имеет ли физическое или биологическое время «стрелу». Однако такая формулировка вопроса (ii) может ввести в заблуждение, склонив к ошибочному отождествлению (ii) с (i). Ибо о стреле неверно говорят так, как будто она выражает «однаправленное течение времени вперед»; в таком случае существует и становление, ибо последнее понимается как «движение» вперед настоящего. И, опираясь на это ошибочное отождествление, обосновывают затем столь же неверное утверждение о том, что положительный ответ на вопрос о необратимости содержит и положительный ответ на вопрос о становлении. Чтобы понять, почему мы утверждаем, что данное отождествление является на самом деле грубой ошибкой, напомним прежде всего, к каким логическим следствиям приводят поиски существования в природе таких процессов, которые являются необратимыми.

Если система мировых линий, каждая из которых представляет собой жизненный путь физического объекта, должна обнаруживать одномерный временной порядок, то для определения состояний мира необходимо установить

отношения одновременности между пространственно разделенными событиями. Для наших целей будет достаточно использовать критерий одновременности какой-то одной локальной инерциальной системы специальной теории относительности, не прибегая к космическому времени какой-либо космологической модели.

Предположим теперь, что события, принадлежащие к *каждой* мировой линии, инвариантно упорядочены относительно всех инерциальных систем с помощью отношения «между», обладающего *формальным* свойством пространственного отношения «между», которое характеризует расположение точек на евклидовой прямой: из любых трех элементов только один может находиться между двумя другими. Это отношение «между», очевидно, является скорее временным, чем пространственным, поскольку оно *инвариантно* связывает события, принадлежащие к *каждой индивидуальной мировой линии* относительно всех инерциальных систем, в то время как никакое подобное *пространственное* отношение «между» не получается инвариантным¹. Пока временное отношение «между» мировых линий является формально евклидовым в точном смысле этого термина, любые два события на одной из этих линий или любые два состояния мира могут способствовать определению двух смыслов времени, которые в *порядковом отношении* противоположны друг другу, поскольку это касается предполагаемых временных отношений «между»². И членам этих одновременных классов событий, определяющих один из этих двух противоположных смыслов, можно затем приписать убывающие числовые значения координат, тогда как членам класса, определяющим *противоположный смысл*, можно приписать возрастающие значения координат. На этой стадии несущественно, какому из двух противоположных смыслов приписываются возрастающие вещественные числа. Мы утверждаем только, что координатизация с помощью вещественных чисел следующим образом отражает временные отношения «между» среди событий: собы-

¹ Рассмотрим, например, события на жизненном пути людей или животных, которые так часто *возвращаются* в пространственно зафиксированное на Земле место обитания. Эти события, происходящие в различных точках поверхности Земли, не обнаруживают отношения «между», характерного для точек евклидовой прямой.

² За подробностями отсылаем читателя к разделу А главы восьмой.

тиям, расположенным во времени между двумя данными событиями E и E' , должны быть приписаны такие вещественные числа, выражающие координаты, которые в порядковом отношении расположены между временными координатами E и E' . Используя одну из таких координатизаций времени, связанную с этим минимальным требованием, мы можем применять выражения «начальное состояние», «конечное состояние», «до» и «после», основываясь на вещественных числах, выражающих координаты, не нанося, по сути дела, никакого ущерба решению вопроса о том, существуют или нет процессы необратимого типа¹. Под «необратимым процессом» (à la Планк) мы понимаем такой, для которого невозможен какой-либо контрпроцесс, способный восстановить *некоторое* исходное состояние системы в другой момент времени. Отметим, что словарь временных терминов, используемых в данной дефиниции процессов, которые мы считаем необратимыми, не исходит молчаливо из предположения, что необратимые процессы *существуют*. Используемые здесь термины «исходное состояние», «восстанавливать» и «контрпроцесс» предполагают только координатизацию, основанную на изложенном выше отношении «между».

Выдвигают также обвинение, что тот, кто говорит о временном отношении «между» и в то же время оставляет *открытым* вопрос о том, существуют ли процессы, относящиеся к типу необратимых, виновен в опространствовании времени. Однако подобное обвинение упускает из виду, что формальное свойство находиться «между» на евклидовой линии, на которое мы ссылаемся, является абстрактным и, как таковое, не может быть ни пространственным, ни временным. И сознательное приписывание этого формального свойства отношению «между» для событий, принадлежащих каждой мировой линии, без предположения о необратимо-

¹ Этот нестрогий характер термина «начальное состояние», видимо, был установлен Коста де Борегаром в одном из разделов его статьи, озаглавленной «Проблемы необратимости» [«Proceedings of the 1964 International Congress for Logic, Methodology and Philosophy of Science» (Amsterdam, Holland: North-Holland Publishing Co., 1965), p. 327]. Однако, когда де Борегар рассматривает наши критические замечания относительно оценки Рейхенбахом необратимости (см. главу восьмую данной книги) [ibid., p. 331], он не учитывает того, что они подразумевают начальные состояния только в этом нестрогом смысле.

сти *не* является поэтому незаконным опространствованием времени. С таким же успехом можно говорить о том, что поскольку временное отношение «между» обладает этим абстрактным свойством, постольку приписывание его отношению «между» для точек на пространственной линии является овременением пространства!¹

Таким образом, предположение, что события, принадлежащие к каждой мировой линии, упорядочиваются абстрактным евклидовым временным отношением «между», не подразумевает существования процессов необратимого типа, но допускает, что процессы любых типов являются обратимыми². Если имеются необратимые процессы, тогда два

¹ Так, было бы ошибкой утверждать, как это делает Чапек [«The Philosophical Impact of Contemporary Physics» (Princeton, New York: D. Van Nostrand Co., 1961), p. 349, also 347 and 355], что приведенное различие между временным отношением «между» и необратимостью является «ошибочным» в силу того, что оно основывается на поверхностной и обманчивой аналогии «течения времени» с геометрической линией» (ibid., p. 349). Если бы осуждение Чапеком этого различия было правильным, тогда нельзя было бы законным образом поставить следующий фундаментальный вопрос теоретической физики: являются ли *prima facie* необратимые процессы, известные нам, необратимыми на самом деле, и если да, то в силу каких законов и/или граничных условий они являются таковыми? Ибо этот вопрос основывается именно на том разделении, которое Чапек отвергает как «ошибочное». К тому же Чапек ошибается (ibid., p. 355), говоря, что, когда Рейхенбах характеризует эпохи, энтропии которых направлены в противоположные стороны как «следующие друг за другом», тогда необратимость «вкрадывается» совместно с асимметричными отношениями «до» и «после».

² На основании весьма двусмысленного употребления термина «необратимый» Чапек («The Philosophical Impact of Contemporary Physics», pp. 166—167 and 344—345) ошибочно утверждает, что оценка пространственно-временных свойств мировых линий, которая дается специальной теорией относительности, влечет за собой необратимость физических процессов, представленных мировыми линиями. Он пишет: «Мировые линии, каждая из которых необратима... Эта необратимость есть топологический инвариант» (ibid., pp. 344—345). Однако Чапеку не удалось установить различие между 1) *необращением, или инвариантностью, временно́го порядка между различными галилеевскими системами*, которых требуют преобразования Лоренца в случае каузально связуемых событий, и 2) необратимостью процессов, представленных мировыми линиями, в стандартном смысле *невозможности восстано-*

противоположных относительно порядка смысла времени на самом деле имеют и *другие* структурные различия: существуют некоторые виды последовательностей состояний систем, заданные в порядке возрастания временных координат, причем такие, что эти же самые виды последовательностей не существуют в порядке убывания временных координат. Или, что эквивалентно, существование необратимых процессов предполагает два структурно противоположных смысла времени: имеются определенные виды последовательностей состояний систем, задаваемые в порядке уменьшения временных координат, так что те же самые виды последовательностей не получаются таким же образом в порядке возрастания временных координат. Соответственно, если имеются необратимые виды процессов, то время анизотропно. И мы видим, что когда физики говорят, следуя Эддингтону, что время имеет «стрелу», то это и есть анизотропия, на которую они ссылаются метафорически. В частности, пространственное противоположение между конечником и оперением стрелы изображает анизотропию времени.

Отметим, что мы смогли охарактеризовать процессы как необратимые и время как анизотропное без какой-либо явной или неявной ссылки на непрерывно движущееся «теперь» или на грамматические времена прошлого, настоящего и будущего¹. К тому же мы можем метафорически

ления того же самого состояния в любой системе. Применяя термин «необратимость» как в 1), так и во 2) смысле и не сумев провести различия между ними, Чапек посчитал себя вправе сделать вывод о том, что преобразования Лоренца приписывают необратимость в рамках какой-либо одной системы процессам, описываемым мировыми линиями, и именно поэтому данные преобразования утверждают инвариантность временного порядка на мировых линиях как раз между различными системами. То, что преобразования Лоренца не отвергают обратимости физических процессов, становится ясным, если проделать каждую из *двух* замен $t \rightarrow -t$ и $t' \rightarrow -t'$ в преобразованиях. Эти замены приводят к той же самой системе уравнений, за исключением знака скорости в числителях, то есть они только обращают направление движения. Поэтому эти две замены *не* влекут за собой какого-либо нарушения инвариантности временного порядка теории между различными системами S и S' . Напротив, различные уравнения, обнаруживающие нарушение инвариантности временного порядка на мировых линиях, могли бы быть получены путем замены в преобразованиях Лоренца *только* одной из двух переменных t и t' на их отрицательные двойники.

¹ Некоторые подвергают сомнению возможность формулировать положение, что специфически физические события происходят на самом деле в частные моменты времени по часам без скрытых ссылок на непрерывно движущееся «теперь» [см.:

утверждать, что время имеет стрелу без каких-либо скрытых или прямых ссылок на то, что события происходят *теперь*, случаются в настоящее время, или идут в бытие. Тем не менее анизотропия времени, символизируемая стрелой, ошибочно приравнивается в литературе к непрерывному движению «теперь», или становлению событий, путем следующих рассуждений: 1) становление событий описывается кинематической метафорой «течение времени» и понимается как *скольжение* «теперь», которое *выделяет будущее направление времени* в качестве смысла его «продвижения», и 2) хотя стрела, о которой говорит физик, не подразумевает непрерывного движения «теперь», а его утверждение о том, что имеется стрела времени, можно рассматривать как эквивалент утверждения, что имеется *течение* времени в направлении будущего, это обусловлено тем, что обращают внимание на наконечник стрелы и *не обращают внимания на ее оперение*, отождествляя первый с направлением «продвижения» «теперь».

H. W e y l, Philosophy of Mathematics and Natural Science (Princeton: Princeton University Press, 1949), p. 75]. По их мнению, любое физическое описание будет пользоваться координатизацией времени, и любая такая координатизация должна, очевидно, апеллировать к «теперь», чтобы установить по крайней мере одно состояние, такое, скажем, как начало временной координаты. Однако мы не видим здесь подлинной трудности по трем причинам. Во-первых, неясно, почему, например, обозначение начала временной координаты датой рождения Иисуса молчаливо подразумевает логически неизбежную ссылку на «теперь» или на грамматические времена по причине использования собственного имени. Во-вторых, в некоторых космологических моделях вселенной начало временной координаты может вовсе не обозначаться с достаточной ясностью: в модели «большого взрыва» сам большой взрыв может быть обозначен уникальным и в то же время *не очевидным* образом как такое состояние, которое не имеет никаких временных предшественников. И в-третьих, любые два описания мира, которые различаются только выбором начала временной координаты, но используют одну и ту же метрику и топологию времени, являются эквивалентными по отношению к их фактуальному *физическому* содержанию. Следовательно, такие описания отличаются только по способу, которым они присваивают числовые наименования, или ярлыки, отдельным одновременным классам событий. Поэтому пусть будет считаться доказанным аргумент, что молчаливое использование «теперь» или грамматических времен является логически неизбежным для обозначения начала любой частной координатизации времени. Но даже если это так, то отсюда *не следует*, что прошлое, настоящее и будущее обладают во временной структуре физического мира статусом, независимым от сознания.

Утверждение физиков, что время имеет «стрелу», весьма тонко передает тот эмпирический факт, что два противоположно упорядоченных смысла времени *структурно отличаются* друг от друга в специфическом отношении. Однако, кодируя таким образом данный эмпирический факт, физик *не* ссылается на непрерывное движение «теперь», чтобы выбрать один из двух смыслов времени как предпочтительный. Напротив, утверждение о том, что настоящее, или «теперь», скользит в направлении будущего, ссылается на непрерывное движение «теперь», выбирая один из двух смыслов времени и, как мы вскоре увидим, представляет собой обыкновенный трюизм вроде высказывания «все холостяки — мужчины». В частности, термины «скользит» или «течет» употребляют не в их буквальном кинематическом смысле, так что *пространственное* направление скольжения, или течения, задается там, где находится скользящий предмет в более *позднее* время. Следовательно, когда мы метафорически говорим о «теперь» как «скользящем» в каком-то частном направлении *времени*, то «скольжение теперь», или его продвижение в направлении будущего, является просто вопросом определения. Ибо эта декларация говорит нам только о том, что «теперь», соответствующее более позднему времени, произошло позже, чем «теперь», соответствующее более ранним моментам, то есть эта декларация совершенно неинформативна, как и тот трюизм, согласно которому более ранние «теперь» предшествуют более поздним¹.

¹ Утверждение, что «теперь» продвигается в направлении будущего, представляет собой трюизм как в смысле соответствия между многими «теперь» и *физически* более поздними моментами, отсчитываемыми часами, так и их соответствия с психологически (интроспективно) более поздним содержанием сознания. *Не* является, однако, трюизмом то, что *интроспективно* более поздние «теперь» коррелируются во времени с состояниями нашего физического окружения, которые являются более поздними в силу критерия, обеспечиваемого необратимыми процессами. Получение этой последней корреляции зависит от законов, управляющих физическими и нервными процессами, необходимыми для психической аккумуляции воспоминаний и для регистрации информации в сознании. (Оценка некоторых соответствующих законов была дана в предыдущей главе, разделы А и Б.) Зафиксировав трюизм упомянутых выше утверждений, как таковых, и указав на роль эмпирических законов, о которых только что шла речь, мы полагаем, что дали ответ на замечание Коста де Борегара (в «Irreversibility Problems», p. 337), согласно которому «подчеркивание того обстоятельства, что стрела энтропии, как и стрела информации, возрастают параллельно друг другу, *не* доказывает необходимости следования этим стрелам течения субъективного времени!»

Теперь очевидно, что метафизическое утверждение о существовании необратимых в смысле физической теории процессов с помощью рассуждений о стреле вовсе не содержит утверждения о существовании независимого от сознания становления физических событий, как таковых. Следовательно, те, кто намеревается утверждать, что становление не зависит от сознания, не могут обосновывать свои утверждения анизотропией физического времени, которая на самом деле *независима* от сознания.

Будучи только тавтологией, кинематическая метафора о течении времени в направлении будущего не передает сама по себе никакого эмпирического факта, связанного с временем нашего опыта. Однако роль, которую играет настоящее в становлении, представляет собой свойство переживаемого мира, закодированное обыденным временем в следующем информативном смысле: каждому огромному разнообразию событий, которые упорядочены в отношении «раньше» и «позже» с помощью физических часов, соответствует частное переживание события как случающегося теперь. Следовательно, мы скажем, что наш опыт обнаруживает *разнообразие «теперь-содержаний»* сознания, которые упорядочены во времени применительно к каждому из отношений «раньше» или «позже». Таким образом, существенным свойством переживаемого мира, которое кодируется временем здравого смысла, является наличие явного разнообразия моментов «теперь», и в этом явном разнообразии будущее играет не большую роль, чем прошлое. Поэтому в данном *нейтральном по отношению к направлению* смысле высказывание о существовании *непрерывного движения* момента «теперь» или о «вхождении в бытие» различных событий является информативным. И конечно, в контексте соответствующих отношений «раньше» и «позже» это течение настоящего способствует бытию событий как прошлых, так и будущих.

Прежде чем разобраться в проблеме зависимости становления от сознания, мы хотели бы предупредить неверное понимание, которое может возникнуть при употреблении терминов «становиться» и «приходить в бытие» в тех ситуациях, когда понятие времени лишено грамматического смысла (*tenseless*). Данные ситуации подразумевают непринадлежность к настоящему времени, или к происходящему «теперь», как это имеет в виду при рассуждениях о времени, и мы должны строго подчеркнуть, что наш тезис

о зависимости становления от сознания относится только к той разновидности становления, которая связана с грамматическим временем (*tensed*). Примерами безвременного в грамматическом смысле (*tenseless*) употребления терминов «приход в бытие», «становление» и «теперь» являются следующие. 1) Момент, когда ребенок приходит в бытие как юридическая сущность, постигается биологически. То, что имеет в виду это утверждение, между прочим ошибочное, необходимо в юридических целях — жизненный путь ребенка *начинается* (безотносительно к грамматическому времени) в тот момент, когда происходит оплодотворение (безотносительно к грамматическому времени) яйца. 2) Если в какое-либо частное мгновение t с помощью соответствующего устройства воспламеняется порох, то взрыв приходит в бытие в это же мгновение t . Виды приходящего в бытие, подразумеваемые здесь, включают событие здравого смысла, которое, как утверждается в данном случае, должно происходить *безотносительно к грамматическому времени* в момент t . 3) Кусок железа, когда он нагрет до соответствующей температуры, становится красным. Это предположение утверждает, что после того как кусок железа нагрет (безотносительно к грамматическому времени), он (опять же безотносительно к грамматическому времени) становится красным и продолжает оставаться таким в течение неопределенного интервала времени. 4) В релятивистском двухмерном пространственном изображении Минковского событие, обозначаемое точкой начала (светового конуса), называется «здесь-теперь», и соотнесенные с ним классы событий на диаграмме соответственно называются «абсолютным прошлым» и «абсолютным будущим». Однако «здесь-теперь» Минковского обозначает произвольно выбранное событие отсчета, которое может быть установлено *раз и навсегда* и будет квалифицироваться как «теперь» в различные моменты времени независимо от того, когда используется эта диаграмма. Следовательно, в релятивистской схеме, изображенной Минковским, нет мимолетного «теперь» и его абсолютное прошлое и абсолютное будущее представляют собой просто «абсолютно раньше» и «абсолютно позже» чем данное произвольно выбранное фиксированное событие отсчета, именуемое «здесь-теперь»¹. В соответствии с этим

¹ Очень ясная оценка логических отношений языка Минковского к рассуждениям в рамках грамматических времен дана Селларсом в его работе «Время и мировой порядок» [W. Sellars,

мы должны быть внимательны к тому, что имеются безотносительные к грамматическим временам значения слов «становление» и «теперь».

И обратно, мы должны ясно понимать, что некоторые важные *на вид* безотносительные к грамматическим временам употребления терминов «существовать», «происходить», «быть действительностью», «обладать бытием или реальностью» на самом деле обременены настоящим временем в смысле грамматики. В частности, все эти термины употребляются в смысле случившегося *теперь*. И, молчаливо подразумевая принадлежность события к «теперь» как необходимое условие его осуществления, существования или реальности, философы выдвигают следующие ошибочные аргументы. Сначала они утверждают, что вселенная может считаться существующей только в той мере, в какой имеются события настоящего. Однако утверждение о том, что только события настоящего существуют теперь, является либо тривиальным, либо ошибочным. Затем они ссылаются на правильную предпосылку, согласно которой существование физической вселенной не зависит от сознания, и делают вывод (из первого утверждения), что «быть в настоящем времени», «случаться теперь» или «становиться» *не зависит* от разума или сознания. Так, Томас Гоббс писал: «Только настоящее имеет бытие в природе, прошлые вещи имеют бытие лишь в памяти, а будущие вещи не имеют никакого бытия»¹. Заявляя в данном случае, что только события настоящего или настоящие воспоминания о прошлых событиях «имеют бытие», Гоббс *явственно* апеллирует к тому смыслу выражений «иметь бытие», или «существовать», который *логически не зависит* от понятия существующего *теперь*. Однако правдоподобие его утверждения зависит от молчаливого обращения к происходящему *в настоящее время* как необходимому условию обладания бытием, или условию существования. Раз этот факт ясно осознан, утверждение, что «только настоящее имеет бытие в природе», оказывается простой тавтологией, согласно которой «только то, что существует теперь, существует на самом деле». И с помощью своей завуалированной апелляции к несокру-

Time and the World Order, «Minnesota Studies in the Philosophy of Science», Vol. III, edited by H. Feigl and G. Maxwell (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962), p. 571].

¹ Т. Г о б б с, Левиафан, или Материя, форма и власть государства церковного и гражданского, Соцэкгиз, М., 1936, стр. 49.

шимой уверенности, выражаемой этой тавтологией, он придает видимость правдоподобия совершенно необоснованному заключению, что природа может рассматриваться как существующая только в той степени, в какой имеются события *настоящего* и воспоминания *настоящего* о прошлых событиях. Тот факт, что какое-то событие не происходит теперь, отнюдь не подтверждает вывода о том, что оно не могло произойти в то или иное время.

В. Зависимость становления от сознания

Зная об этих логических ловушках, мы можем перейти к следующему важному вопросу: если физическое событие происходит *теперь* (в настоящее время, в настоящем времени), то какие атрибуты или отношения, характеризующие его свершение, можно по праву рассматривать как квалифицирующие его именно таким образом?

Задавая этот вопрос, мы помним о том, что если в данное по часам время t_0 будет правильным сказать о некотором частном событии E , что оно происходит теперь или случается в настоящее время, то это утверждение не может быть также истинным во все остальные моменты $t \neq t_0$, отмечаемые этими часами. И следовательно, мы должны различать временное в грамматическом смысле утверждение о происходящем *в настоящее время* от безвременного в грамматическом смысле утверждения, что событие E случилось в момент t_0 ; а именно последнее безвременное утверждение, если оно вообще является верным, может быть сделано с таким же правом как в момент t_0 , так и во все остальные моменты t , отличные от t_0 . Кроме того, мы должны остерегаться отождествления временного в грамматическом смысле утверждения, сделанного в некоторый частный момент t_0 , о том, что случилось *в настоящее время*, с вневременным утверждением, сделанным в *любой* момент времени t , о том, что событие E происходит, или «является настоящим», в момент t . Это же имеет силу и для различения между временными в грамматическом отношении смыслами быть прошлым или быть будущим, с одной стороны, и вневременными смыслами *быть прошлым* в момент t_0 или *быть будущим* в момент t_0 — с другой. Быть будущим относительно t_0 означает только быть позже, чем t_0 , и это отношение является вневременным в грамматическом смысле. Таким образом,

наш вопрос ставится так: что фактически, *кроме и сверх определенного по часам момента t* , позволяет охарактеризовать совершающееся в этот момент t физическое событие (которое в противном случае является в грамматическом смысле безвременным) как происходящее *теперь*, или принадлежащее к настоящему времени? Следует напомнить, что в начале этой главы мы говорили, почему наше толкование этого вопроса *не* предусматривает анализа значений понятий «теперь» и «принадлежность к настоящему» здравого смысла, но требует критической оценки того статуса, который здравый смысл приписывает настоящему времени¹. Предлагая данную трактовку вопроса, мы даем следующий ответ: то, что квалифицирует физическое событие в момент t как принадлежащее к настоящему времени, или к «теперь», *не* представляет собой какого-либо физического атрибута события или какого-либо отношения, испытываемого им, к другим *чисто физическим* событиям; напротив, для такой квалификации события *необходимо* только то, что в момент t по крайней мере один человеческий или другой *обладающий сознанием* организм M концептуально осознает в это время переживаемое событие². И это сознание вообще не содержит в себе информации относительно дат и показаний часов, устанавливающих время свершения события. Каким же является тогда содержание концептуального сознания M в момент t , когда оно переживает некоторое событие, происходящее именно в *этот момент времени*? Переживание

¹ Истолкование относящихся к этому вопросу сходных трактовок см. в: W. Sellars, *Philosophy and the Scientific Image of Man*, «Frontiers of Science and Philosophy», Robert G. Colodny (ed.), Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1962, pp. 35—78.

² Следует отметить, что мы говорим здесь о зависимости принадлежности к «теперь» от организма M , который обладает сознанием в смысле наличия концептуального, или рассудочного, сознания, отличного от сознания только чувственного. Поскольку биологические организмы, отличные от человека (например, внеземные организмы), могут обладать сознанием в этом смысле, то было бы неоправданным ограничением говорить о зависимости «принадлежности к теперь» от сознания, как о его «антропоцентричности». В самом деле, может случиться так, что концептуальное сознание вовсе не будет требовать *биохимического* субстрата, но будет свойством соответствующим образом организованной сложной «металлической» вычислительной машины. То, что требуется какой-то физической субстрат, убедительно обосновывается известной зависимостью содержания и самого существования человеческого сознания от адекватного функционирования человеческого тела.

организмом *M* какого-то события в момент *t* связано с осознанием временного совпадения переживаемого им события с состоянием *знания* о том, что он вообще переживает это событие. Иными словами, *M* переживает данное событие в момент *t* и он знает, что переживает его. Таким образом, принадлежность к настоящему времени, или к «теперь», некоторого события требует концептуального осознания непосредственного переживания события. Например, если я только что слышал шум в момент времени *t*, то этот шум нельзя квалифицировать как происшедший именно *теперь* в момент *t*, если только в момент *t* я вообще не осознаю рас­судком того, что услышал этот шум, и совпадения во времени услышанного с его осознанием¹. Если само событие, происходящее в момент *t*, является психическим (mental) событием (например, страданием), тогда нет различия между событием и нашим переживанием его. При таком понимании мы утверждаем, что принадлежность к «теперь» в момент времени *t* либо физического, либо психического события требует, чтобы имелось *переживание* данного события, которое удовлетворяло бы определенным требованиям.

¹ Имеющее отношение к этому вопросу различие между *только* восприятием на слух чего-то и рассудочным осознанием того, что мы что-то услышали, хорошо показано Чисолмом: «Мы можем сказать о человеке, что он наблюдает на крыше кошку. Мы можем также сказать о нем, что он наблюдает, что кошка находится на крыше. Во втором случае глагол «наблюдать» требует предложения с союзом «что», то есть пропозиционного предложения в качестве своего грамматического предмета. Следовательно, мы можем провести различие между «пропозиционным» и «непропозиционным» употреблением термина «наблюдать», и мы можем поступить аналогичным образом относительно различия смысла терминов «воспринимать», «видеть», «слышать» и «чувствовать». Если мы берем глагол «наблюдать» пропозиционно, говоря о человеке, что он наблюдает, что кошка находится на крыше, или что кошка на крыше, тогда мы также говорим о нем, что он *знает* о том, что на крыше находится именно кошка, ибо в пропозиционном смысле глагола «наблюдать» о наблюдении можно сказать, что оно включает и знание. Но если мы берем глагол непропозиционно, говоря о человеке только то, что он наблюдает кошку, которая находится на крыше, тогда то, что мы говорим, не содержит утверждения о том, что он знает, что на крыше находится кошка. Ибо о человеке можно сказать, что он наблюдает кошку, видит кошку или слышит кошку в непропозиционном смысле этих терминов, то есть он не знает, что он наблюдает, или видит, или слышит именно кошку. «Этого не было, пока я на следующий день не обнаружил что то, что я видел, была только кошка» [R. M. Chisholm, *Theory of Knowledge* (Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1966, p. 10)].

И, удовлетворяя этим требованиям, *переживание* физического события квалифицирует событие в определенный момент времени t как происходящее *теперь*. Таким образом, выполнение установленных требований со стороны *переживания* события в момент времени t также *достаточно* для принадлежности к «теперь» и этого *переживания* в данный момент времени t . Однако только то, что переживание физического события квалифицирует его как происходящее «теперь» в момент времени t , фиксируемый часами, допускает, с другой стороны, в смысле физического факта, что само физическое событие произошло за миллионы лет до момента t , как, например, в случае обнаружения в настоящий момент вспышки звезды на расстоянии в миллионы световых лет. Следовательно, только наличие переживания физического события в момент времени t *недостаточна* для вывода, что время осуществления события, показываемое часами, равно t или какому-то *частному* моменту времени до t . В самом деле, свершение некоторого внешнего физического события E в любой инерциальной системе никогда не может быть одновременным с непосредственной перцептуальной регистрацией этого события E организмом, обладающим сознанием. Следовательно, если событие E переживается в настоящий момент как случившееся в некоторый частный момент t , фиксируемый часами, тогда не существует никакой инерциальной системы, в которой E произошло бы *в тот же самый* фиксируемый часами момент t . Конечно, для *некоторых* практических целей повседневной жизни близкая к Земле вспышка в небе может без ущерба рассматриваться как одновременная с чьим-то переживанием ее, тогда как вспышка далекой сверхновой звезды или затмение Солнца, например, не могут считаться таковыми. Но эта некоторая практическая безвредность суждений здравого смысла о принадлежности к настоящему времени физических событий, высказываемых на основании перцептуальных данных, не может уменьшить их ошибочности с научной точки зрения. И поэтому мы не считаем своим долгом давать философскую оценку статусу принадлежности к «теперь», совместимому с решением здравого смысла относительно «теперь». В частности, мы не видим никаких возражений против того, чтобы сделать принадлежность к «теперь» *переживания* физического события *достаточным* и необходимым для постулирования его принадлежности к «теперь», хотя уже достаточно осведомленный здравый

Смысл может отказаться от этого критерия, например в случае со вспышкой звезды. Однако для нашего тезиса о зависимости от сознания существенным является то, что принадлежность к «теперь» переживания некоторого события необходима для постулирования принадлежности к «теперь» самого события. И поэтому наш тезис допускал бы до некоторой степени компромисс со здравым смыслом, а именно ограничивал возможность приписывать принадлежность к «теперь» тем физическим событиям, которые обладают весьма неопределенным реляционным свойством произойти только «слегка раньше», чем соответствующее переживание их кем-то.

Приведем несколько важных комментариев относительно нашей характеристики момента «теперь».

1) Наша характеристика *настоящего времени*, случающегося или происходящего *теперь*, имеет в виду *отрицание* того, что принадлежность к настоящему есть физический атрибут события E , который не зависит от какого-либо рассудочного осознания события E . Но мы не предлагаем никакой дефиниции атрибута «теперь», выражаемого наречием, который относился бы к концептуальной схеме рассуждений, опирающихся на грамматические времена. Мы предлагаем только определение с помощью атрибутов и отношений, заимствованных из безвременной в грамматическом смысле схемы (Минковского) рассуждений о времени, обычной для физики. В частности, мы прямо обращаемся к настоящему грамматическому времени, когда ставим принадлежность к «теперь» события E в момент t в зависимость от того, что кто-то должен знать, что *он переживает в настоящее время событие E* . И это равноценно суждению кого-то в момент t : «Сейчас я переживаю событие E *теперь*». Эта формулировка *не* содержит порочного круга, ибо она служит отчетливому выражению зависимости принадлежности к «теперь» от сознания и не выдвигает ошибочного требования элиминировать эту зависимость с помощью подробной дефиниции. В самом деле, мы гораздо меньше заботимся об адекватности особенностей нашей характеристики, нежели о ее тезисе относительно зависимости от сознания.

2) Наша характеристика делает принадлежность к «теперь» некоторого события в момент t зависимым от наличия концептуального осознания того, что переживание данного события имеет место в момент t , и указывает на недостаточность одного только этого переживания. Предположим, что

в момент t я выражаю такое концептуализированное осознание в виде лингвистического высказывания и это высказывание является квазисовременным с переживанием события. Тогда высказывание удовлетворяет условию, необходимому для осуществления в *настоящем* переживаемого события¹.

3) В первую очередь только некоторое переживание (то есть психическое событие) всегда можно квалифицировать как происходящее теперь, и, более того, психическое событие (например, боль) должно удовлетворять специфическим требованиям осознания, чтобы его можно было квалифицировать, как таковое. Физическое событие, подобное взрыву, можно квалифицировать как происходящее теперь в некоторый момент времени только опосредованным образом с помощью одного из следующих двух способов: а) необходимо таким образом было квалифицировано чье-то переживание этого физического события, или б) если физическое событие не воспринималось, то оно должно быть одновременным с другим физическим событием, которое квалифицируется в указанном выше опосредованном смысле а).

В целях лаконичности мы будем ссылаться на это сложное состояние дел, говоря, что физические события, принадлежащие к районам пространства-времени, полностью лишенным перцепиентов, обладающих сознанием, никогда не могут быть квалифицированы как происходящие теперь и, следовательно, становления не испытывают.

¹ Рассудочное осознание, которое, как мы утверждаем, является существенным для того, чтобы некоторое событие было квалифицировано как происходящее теперь, может, конечно, быть выражено высказыванием, но это не является необходимым. Поэтому мы рассматриваем оценку принадлежности к «теперь», которая ограничивается только высказыванием, как неадекватную. Такая чрезмерно ограниченная оценка дается в весьма ясной в остальных отношениях защите Смартом антропоцентричности грамматического времени [См.: J. J. C. Smart, *Philosophy and Scientific Realism* (London: Routledge & Kegan Paul, 1963), Chap. vii]. Однако эта чрезмерная ограниченность совсем не существенна для его тезиса об антропоцентричности принадлежности к «теперь». И неограниченная трактовка, которую мы защищаем, в отличие от его трактовки позволяет не обосновывать ее исходя 1) из отрицания того, что «данное высказывание» может быть проанализировано как «высказывание, которое сделано теперь», и 2) из требования, что «теперь» должно быть разъяснено с помощью «этого высказывания» (*ibid.*, pp. 134—140).

4) Наша характеристика «теперь» достаточно близка к тому, чтобы исключить прошлые и будущие события: здесь нужно ясно понять, что *выявление*, или восприятие, события, сколь бы ясным оно ни было, *не* следует ошибочно называть «наличием переживания» события, если к переживанию применяется наша характеристика «теперь».

Наше утверждение, что принадлежность к «теперь» зависит от сознания, вовсе не говорит о том, что принадлежность события к «теперь» определяется произволом. Напротив, из нашей оценки следует, что вообще не может быть произвольным, какое событие или события квалифицируются как существующие *теперь* в любое данное время t ; до этих пор наша оценка совпадает с оценкой здравого смысла. Но мы отвергаем многое из того, что здравый смысл рассматривает как статус момента «теперь». Так, когда я мысленно удивляюсь (причем эту мысль я *могу* передать с помощью вопросительного словесного высказывания), неужели сейчас 3 часа пополудни по Гринвичу, то я спрашиваю себя о следующем: является ли частное восприятие, которое я сейчас осознаю, когда задаю этот вопрос, членом класса одновременных событий, которые квалифицируются как случающиеся в 3 часа пополудни по Гринвичу такого-то числа? И когда я мысленно удивляюсь тому, что происходит теперь, я задаю вопрос: какие события, которые я не осознаю, являются одновременными с частным восприятием момента «теперь», которое я *осознаю*, задавая этот вопрос?

Когда происходящему событию произвольно приписывается атрибут принадлежности к «теперь» (nowness), то мне кажется, что свойственная ему зависимость от сознания вытекает из соображений о некоторой информации, которая достаточно надежно должна передаваться суждением «сейчас 3 часа пополудни по Гринвичу». Ясно, что такое суждение является информативным в отличие от суждения «все холостяки — мужчины». Но если слово «теперь» в информативном временном суждении не подразумевает ссылки на частное содержание концептуального сознания, или языкового высказывания, которое относит его к определенному моменту времени, тогда, по-видимому, ничего не остается, кроме обозначения его либо как времени событий, уже идентифицированных с моментом 3 часа пополудни по Гринвичу, либо как времени событий, идентифицируемых

с каким-то другим моментом времени. В предшествующем случае первоначально информативное временное суждение «сейчас 3 часа пополудни по Гринвичу» превращается в абсолютную тривиальность относительно того, что события момента времени, равного 3 часам пополудни по Гринвичу, случились в 3 часа пополудни по Гринвичу. И в последнем случае первоначально информативное суждение, если оно ошибочно с точки зрения фактов, превращается во внутренне противоречивое суждение, подобное тому, что «*ни один холостяк не является мужчиной*».

Как можно ответить на возражение, что независимо от того, воспринимаются кем-нибудь физические события или нет, они сами по себе обладают неанализируемым свойством принадлежности к «теперь» (то есть свойством принадлежности к настоящему) в соответствующие моменты времени их свершения, причем это свойство представляет собой нечто большее, чем простое свершение их в данный момент времени, фиксируемый часами? Я нахожу, что ответ на этот вопрос совершенно бесполезен по следующим причинам. 1) Следует *нетривиальным* образом сформулировать утверждение «сейчас 3 часа пополудни по Гринвичу». Это означает, что когда часы показывают 3 часа пополудни такого-то числа, то данное событие, фиксируемое часами, и все события, одновременные с ним, внутренне обладают неанализируемым свойством принадлежности к «теперь», или к настоящему времени. Но я не могу найти абсолютно ничего такого, о чем нетривиальным образом можно было бы сказать, что в 3 часа пополудни принадлежность к «теперь» (к настоящему) была внутренне присуща событиям, происходившим в 3 часа пополудни. Все, что я могу найти здесь,— это то, что события, происшедшие в 3 часа пополудни, на самом деле являются событиями, происшедшими в 3 часа пополудни в тот день, о котором идет речь. 2) Как мне кажется, решающее значение здесь имеет то, что ни в одной из существующих физических теорий не содержится никаких отличительных знаков (в смысле, связанном со становлением), которые говорили бы нам о том, что событие произошло именно «теперь». Если бы принадлежность к «теперь» была фундаментальным свойством самих физических событий, тогда было бы, конечно, довольно странно, что это свойство до сих пор оставалось вне поля зрения всех существующих в настоящее время физических теорий и это *не наносит никакого ущерба их успехам в объяс-*

нении явлений природы. И я согласен с Рейхенбахом¹, что «если имеется становление [независимое от сознания], то физик должен познать его». 3) Как мы вскоре отметим в конце раздела Г, тезис о том, что принадлежность к «теперь» не зависит от сознания, приводит к серьезным затруднениям, отмеченным Смартom, и защитники этого тезиса не в состоянии даже намекнуть на то, как они надеются разрешить эти трудности без того, чтобы сформулировать этот тезис в нетривиальном виде.

Утверждение о том, что некоторое событие может быть «теперь» (в настоящем) только при условии переживания его кем-то, полностью соответствует, конечно, точке зрения здравого смысла, согласно которой существует не более одного момента времени, в который некоторое частное событие находится в настоящем, и что этот момент времени не может быть выбран произвольным образом. Но если какое-либо событие всегда переживается так, что имеется одновременное осознание самого факта его переживания, тогда существует момент времени, в который событие квалифицируется как существующее «теперь».

Отношение высказываемой здесь концепции становления к концепции становления здравого смысла можно сопоставить с отношением релятивистской физики к физике Ньютона. Наша оценка принадлежности к «теперь» как зависимой от сознания отрицает, а не подтверждает точку зрения здравого смысла на ее статус. Подобным же образом из релятивистской физики следует вывод об ошибочности результатов ее предшественницы. Таким образом, хотя ньютоновская физика не может быть сведена к релятивистской физике (в техническом смысле сведения одной теории к другой), последняя позволяет нам увидеть, почему первая хорошо работает в области малых скоростей: теория относительности показывает (путем сравнения преобразований Лоренца и Галилея), что наблюдательные результаты ньютоновской теории в этой области достаточно корректны по своим численным значениям для некоторых практических целей. Аналогичным образом наша оценка принадлежности к «теперь» позволяет увидеть, почему понятие становления здравого смысла может функционировать при удовлетворении практических целей повседневной жизни.

¹ Г. Рейхенбах, Направление времени, стр. 32.

Существующее «теперь»-содержание сознания может охватывать осознание того, что одно событие произошло позже чем другое или следует за другим, как это показывают следующие примеры. 1) Когда я воспринимаю «тик-так» часов, то «тик» еще не становится моим прошлым, когда я слышу «так»¹. Уильям Джемс и Ганс Дриш отмечали, что осознание мелодии представляет собой нечто иное, чем в случае квазимгновенного осознания последовательности². 2) Состояния памяти являются ингредиентами «теперь»-содержания сознания, когда мы осознаем другие события как происшедшие раньше, чем событие нашего осознания их. 3) Содержание «теперь» может охватывать мысленное видение события как происходящее позже, чем его идеальное восприятие.

Г. В защиту тезиса о зависимости становления от сознания

Прежде чем перейти к рассмотрению некоторых интересных возражений против тезиса о зависимости становления от сознания, мы хотели бы отречься от некоторых карикатурных версий этого тезиса, которые часто встречаются в литературе под неверным названием «теория блок-вселенной». Худшей из этих версий является голословное утверждение, что якобы этот тезис постулирует отсутствие времени во вселенной и поддерживает, по словам Чапека, «абсурдную точку зрения... что... время является только постоянной и ужасной галлюцинацией человеческого разума»³. Но даже наиболее ошибочные из пространственных метафор, которые используются защитниками тезиса о зависимости становления от сознания, не приводят к заключению о том, что этот тезис отрицает объективность так называемого «временноподобного разделения» событий, известного из теории относительности. Утверждение, что принадлежность к «теперь», а тем самым и к «прошлому» и «будущему» зависит от сознания, несомненно, совсем не

¹ P. Fraisse, *The Psychology of Time*, London: Eyre & Spottiswoode, 1964, p. 73.

² W. James, *The Principles of Psychology*, New York, Dover Publications, 1950, pp. 628—629; H. Driesch, *Philosophische Gegenwartsfragen*, Leipzig: E. Reinicke Verlag, 1933, S. 96—103.

³ M. Sapek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, p. 337.

тождественно утверждению, что отношения раньше — позже между событиями мировой линии зависят от сознания, являются исключительно следствием галлюцинации.

Тезис зависимости от сознания отрицает, что физические события сами по себе случаются в смысле грамматического времени (*tensed sense*) событий, приходящих в бытие независимо от какого-либо осознания их. Но этот тезис ясно говорит о том, что физические события происходят независимо от какого-либо сознания в грамматически безвременном смысле (*tenseless sense*), а именно что события происходят только в определенное по часам время в контексте объективных отношений раньше и позже. Таким образом, было бы грубой пародией объективное *отсутствие становления* (*becominglessness*) физических событий, утверждаемое данным тезисом, приравнивать требованию их *безвременности* (*timelessness*). Так, тезис о зависимости от сознания ошибочно интерпретируют таким образом, будто он приводит к утверждению, что все события случаются одновременно или составляют «*totum simul*»¹. Но было бы грубой ошибкой думать, что если физическое время не имеет течения в смысле отсутствия непрерывного движения «теперь», то физические события не могут быть разделены во времени, а должны быть все одновременны.

Типичным примером такой ошибки является приписывание Вейлю и Эйнштейну утверждения, «что мир подобен киноленте: на ней уже есть фотографии, они просто поочередно предстают перед нашими глазами»². Но если фотографии на киноленте «уже есть», они все существуют теперь и, следовательно, *одновременно*. Поэтому ошибочно отождествлять отрицание Вейлем физического становления с псевдоотображением «блок-вселенной» и тем самым обвинять его в абсурдном утверждении, что все события одновременны. Так, Уитроу ошибочно говорит, что теория «блок-вселенной» «означает, что прошлые (и будущие) события сосуществуют с событиями настоящего»³.

¹ Исходя из такого неверного понимания, Чапек ошибочно обвиняет этот тезис в «опространствовании времени», в котором «последовательные моменты уже сосуществуют» («*The Philosophical Impact of Contemporary Physics*», pp. 160—163) и в котором «вселенная со всей своей историей постигается как единый гигантский и безвременный блок, данный весь сразу» (*ibid.*, pp. 163, 355).

² Дж. У и т р о у. Естественная философия времени, стр. 293.

³ Там же, стр. 115.

Мы увидим в следующем разделе, что подобная же ошибка делает несостоятельным утверждение, что детерминизм якобы содержит абсурдное утверждение о современности всех событий. И в данной ситуации декларацию о том, что «прохождение времени... является самой сутью понятия»¹ рассматривают как решение вопроса. Несомненно, прохождение времени в смысле непрерывного движения «теперь» является неотъемлемым положением концепции времени здравого смысла и может свидетельствовать только о том, что в этом отношении данная концепция антропоцентрична.

Отсутствие становления в интерпретации физического мира, предложенной Минковским, рассматривается как *sub specie aeternitatis* (с точки зрения вечности) в том смысле, что релятивистская оценка времени, предложенная им, не делает никаких ссылок на частные времена чьих-то «теперь» и их соответствующие временные перспективы. И, как замечает Смарт, «безвременной в грамматическом смысле способ объяснения не подразумевает, что физические вещи или события являются вечными в том же смысле, что и число 7»². Мы должны поэтому отвергнуть странное утверждение Уитроу о том, что, согласно релятивистской концепции Минковского, «внешние события *постоянно* существуют, и мы только проходим сквозь них»³. Согласно концепции Минковского, некоторое событие квалифицируется как случившееся, *не испытав становления* (*becomingless*), потому что оно случается в системе отношений «раньше» и «позже», и, таким образом, о нем можно сказать, что оно произошло «в определенный момент времени *t*». Следовательно, для того чтобы утверждать безвременно в грамматическом смысле, что некоторое событие происходит, нужно утверждать также, что имеется время или показание часов *t*, с которым оно совпадает. Но несомненно, это утверждение не содержит абсурдного требования, чтобы событие происходило *во все* моменты времени, отсчитываемые часами, или «постоянно». Произойти безвременно в грамматическом смысле в тот или другой момент времени *t* вовсе не то же самое, что и существовать «постоянно».

Сам Уитроу признает отношения раньше — позже в смысле Минковского, когда он правильно говорит, что

¹ Дж. Уитроу, Естественная философия времени, стр. 293.

² J. G. C. Smart, Philosophy and Scientific Realism, p. 139.

³ Дж. Уитроу, Естественная философия времени, стр. 115, сн. 5 (курсив мой. — А. Г.).

«релятивистская картина мира признает лишь различие между раньше и позже, а не между прошлым, настоящим и будущим»¹. Однако он все же задает вопрос: «Но если никакие события не происходят, кроме наших наблюдений, мы можем законно спросить—почему наши наблюдения представляют исключение?»² Мы ответим, что Минковский утверждает, что события случаются безвременно в смысле их свершения в определенные по часам моменты времени. А что касается исключительного статуса событий, которые мы регистрируем в сознании путем наблюдения, то мы сделаем следующее ясное, но только частичное возражение: будучи регистрируемы сознанием, эти события *eo ipso* являются исключительными.

Я говорю, что этот ответ является лишь частичным, потому что за вопросом Уитроу стоит более фундаментальный вопрос. На этот вопрос следует отвечать тем из нас, кто утверждает совместно с Расселом, что «прошлое, настоящее и будущее вытекают из временных отношений субъекта и объекта, тогда как отношения раньше или позже вытекают из временных отношений объекта и объекта»³. Вопрос состоит в следующем: каким образом становление в случае психических событий, которые становятся и каузально зависят от физических событий, приводит к выводу о том, что сами физические события не испытывают становления независимо от того, воспринимает ли их кто-нибудь или нет, но происходят безвременно в грамматическом смысле? Говоря более точно, вопрос состоит в следующем: если наши *переживания* (внешних и/или внутренних) физических событий каузально зависят от этих событий, как же тогда *психические* события можно квалифицировать как происходящие «теперь», в то время как *сами* вызывающие их физические события нельзя квалифицировать таким образом, причем оба вида событий (по отдельности и все вместе) одинаково соотносятся друг с другом при помощи квази-последовательных отношений раньше и позже?⁴

Однако, на наш взгляд, этот вопрос не указывает на доказательство, опровергающее зависимость становления от сознания. Напротив, его значение состоит в том, что он

¹ Дж. Уитроу, *Естественная философия времени*, стр. 375.

² Там же, стр. 115, сн. 5.

³ В. Рассел, *On the Experience of Time*, «The Monist», 25 (1915), p. 212.

⁴ Необходимость рассмотрения этого вопроса была назависимо друг от друга отмечена Дональдом К. Уильямсом и Ричардом Гейлом.

отрицает а) установление того, что сложные психические состояния рассудочного сознания, как таковые, обладают отличительными свойствами сами по себе, б) что четкая формулировка этих свойств как составной части теоретической оценки «места сознания в природе» и есть установление того, что может быть свойственно исключительно времени сознания. Нам кажется, что существование свойств, присущих времени сознания, не ставит затруднений, свидетельствующих против зависимости становления от сознания, и это вытекает из следующих трех контрвопросов, которые мы адресуем критикам.

1) Почему зависимость становления от сознания представляет большие трудности, чем зависимость от сознания, с точки зрения здравого смысла цветowych атрибутов? То есть, почему первое озадачивает более, чем то, что физические события, подобные отражению от поверхности фотонов определенного вида, каузально индуцируют психические события вроде ощущения синего цвета, которые фундаментально отличаются от них в определенных отношениях? Задавая этот вопрос, мы не предполагаем, что принадлежность к «теперь» является чувственным качеством, подобно красному или сладкому, но только то, что принадлежность к «теперь» и чувственные качества одинаково зависят от сознания.

2) Более того, если предполагается каузальная зависимость психических событий от физических, то почему зависимость становления от сознания является более ошеломляющей, чем тот факт, что грубые чувственные компоненты психических событий, такие, как частное событие ощущения зеленого цвета, не являются членами пространственного порядка физических событий¹. Все же психические события и их грубые чувственные ингредиенты являются частями временной системы отношений «раньше» и «позже», которая точно так же охватывает и физические события².

¹ Психические события в отличие от нейрофизиологических состояний — своих двойников, которые необходимы для их осуществления, не происходят в наших головах таким же образом, как, скажем, биохимические события происходят в коре головного мозга или в стволе спинного мозга.

² Таким образом, осознанное состояние приподнятого настроения, проявившееся у меня в результате получения хороших известий благодаря телефонному звонку С, может находиться во времени между физической цепью С₁ и другой такой цепью С₂, составляющей передачу хороших известий от меня кому-нибудь еще.

3) Психические события должны отличаться в некоторых отношениях от физических, поскольку они психические. Это иллюстрируется тем, что они не являются членами той же самой системы пространственного порядка. Тогда почему должно приводить в замешательство то, что в силу *инной* природы концептуального сознания и самосознания психические события довольно сильно отличаются от физических в отношении становления, хотя оба вида событий испытывают временные отношения одновременности и предшествования?

Каковы рассуждения, которые лежат в основе уверенности критиков в том, что их вопрос способен указать способ опровержения зависимости становления от сознания? Их рассуждения напоминают нам ошибочную апелляцию Декарта к принципу, согласно которому в следствии не должно быть ничего сверх того, что было в причине. Кстати, это был один из его аргументов в пользу существования бога: наиболее совершенное, утверждал он, не может происходить от чего-то менее совершенного как своей достаточной и общей причины. Более совершенное, то есть временные отношения, включающие становление, аргументируют критики, не может происходить от менее совершенного, то есть от лишнего становления физического времени как своей достаточной причины. Мы же, напротив, полагаем, что принадлежность к «теперь» (а тем самым к прошлому и будущему) является свойством событий, *переживаемых* концептуально, *не* потому, что становление есть свойство, подобное свойству физических событий, которые каузально вызывают наше осознание их, но потому, что эти вызванные состояния на самом деле определяют состояния *сознания*. Раз мы установили роль сознания здесь, тогда разнообразие и порядок событий, которые мы осознаем в форме содержаний моментов «теперь», вызывают непрерывное движение «теперь», как это объяснялось выше в разделе В, если надлежащие предупреждения будут учтены. Как мы подчеркивали там, эта непрерывность движения «теперь» не будет сформулирована тавтологично.

В утверждении о зависимости становления от сознания мы вполне допускаем, что некоторые виды нейрофизиологических состояний мозга, которые лежат в основе нашего осознания событий как случающихся только «теперь», специфическим образом отличаются от состояний, лежащих в основе осознания звуков «тик-так», или мелодии, или

осознания воспоминаний, восприятий, а также от состояний, лежащих в основе глубокого сна. Но мы не можем понять, почему состояния сознания, которые способствуют становлению, должны иметь в качестве двойников физические события, которые изоморфны с ними и точно так же должны испытывать становление. Поэтому мы полагаем, что ответили на вопрос Уитроу, почему только воспринимаемые события испытывают становление. В самом деле, нам кажется, что тезис о зависимости становления от времени свободен к тому же от существенного затруднения, на которое наталкивается противоположное утверждение, что физическим событиям внутренне присущи прошлое, настоящее и будущее. Это затруднение было следующим образом сформулировано Смартом: «Если бы прошлое, настоящее и будущее были бы реальными свойствами событий [то есть свойствами, присущими событиям независимо от того, воспринимаются они или нет], тогда потребовалось бы [нетривиальное] объяснение, почему некоторое событие, которое становится настоящим [то есть квалифицируется как происходящее *теперь*], в 1965 году становится настоящим [теперь] в тот или иной день (и это должно было бы быть объяснено, кроме и сверх объяснения того, почему событие этого сорта случилось в 1965 году)»¹. Конечно, совершенно тривиальной интерпретацией тезиса о независимости становления от сознания является такая, когда отвечают, что событие, происшедшее в момент t , фиксируемый часами, *по определению*, обладает неанализируемым атрибутом принадлежности к «теперь» в момент времени t .

Таким образом, на вопрос, откуда появляется становление в случае психических событий, испытывающих становление и каузально зависящих от физических событий, которые сами становления не испытывают, мы отвечаем: становление может характеризовать психические события, поскольку они, с одной стороны, существуют как части *сознания*, а с другой — испытывают отношения временного порядка.

Осознания данного физического события, которыми обладают каждый из реципиентов — людей, могут быть таковыми, что все они одинаково побуждают дать одно и то же описание внешнего события в терминах грамматических времен. Так, предположим, что следствия данного физического события одновременно регистрируются в сознании

¹ J. J. C. S m a r t, *Philosophy and Scientific Realism*, p. 135.

нескольких реципиентов, так что каждый из них воспринимает событие как случающееся, по существу, в то время, когда оно впервые было осознано. Тогда каждый из них может думать в это время, что событие относится к настоящему времени. Параллелизм в подходе к событиям, коренящийся в этом виде интерсубъективности грамматических времен, внушает здравому смыслу уверенность в том, что принадлежность к «теперь» некоторого физического события является внутренне присущим, хотя и мимолетным атрибутом этого события. Однако интерсубъективность этого типа не опровергает зависимости становления от сознания; напротив, она способствует доказательству того, что становление в настоящем времени некоторого события, которое, хотя и не менее зависит от сознания, чем, скажем, боль, не испытывает необходимости быть столь же *индивидуальным*, как боль. Некоторые частные специфические страдания личности являются сугубо индивидуальными в том смысле, что эта личность обладает повышенной восприимчивостью к своим грубо чувственным компонентам¹. Зависимость становления от сознания опровергается такой интерсубъективностью в отношении к грамматическим временам не более, чем зависимость от сознания цветовых атрибутов здравого смысла, в конечном счете опровергается соглашением между несколькими реципиентами относительно цвета данного стула.

Д. «Становление» и конфликт между детерминизмом и индетерминизмом

Если доктрина зависимости становления от сознания является правильной, то отсюда следует очень важный вывод, на который, по-видимому, до сих пор не обращали внимания. Напомним, что принадлежность событий к «те-

¹ Я премного обязан доктору Ричарду Гейлу, указавшему, что поскольку термин «психологический» обычно применяется для обозначения зависящих от сознания атрибутов, которые являются индивидуальными, как отмечалось выше, то было бы совершенно неверным формулировать зависимость от сознания грамматических времен, говоря, что грамматическое время является «психологическим». Поэтому для того, чтобы принять во внимание нужный нам вид интерсубъективности, мы просто используем термин «зависящий» от сознания.

перь» порождается (нашим) концептуальным осознанием их. Поэтому принадлежность к «теперь» становится возможной благодаря в достаточной степени макродетерминистическим (каузальным) процессам, которые позволяют гарантировать основные необходимые корреляции между осуществлением некоторого события и тем, чтобы кто-нибудь мог соответствующим образом воспринять его. Конечно, само понятие переживания внешнего события покоится именно на таком макродетерминизме и тем самым делает возможным эмпирическое познание. Короче говоря, мимолетное настоящее имеется настолько, насколько это позволяет наличие в физическом мире необходимой степени макродетерминизма. И поэтому ясно, что мимолетность настоящего может быть получена в полностью детерминистской физической вселенной, будь то релятивистская или ньютоновская вселенная.

Теория относительности отвергает уникальный характер слоев одновременности в рамках класса физических событий, который постулировался ньютоновской теорией. Следовательно, теория Эйнштейна, несомненно, устраняет концепцию «настоящего», которую некоторые защитники объективности становления связывают с ньютоновской теорией. Однако следует подчеркнуть, что обоснованность доктрины зависимости становления от сознания, которая, по существу, в такой же степени совместима с теорией Ньютона, не зависит от подтверждения теории Эйнштейна в противовес теории Ньютона.

Наш вывод, что в полностью детерминистской физической вселенной может существовать мимолетное «теперь», всецело расходится с утверждением некоторых выдающихся мыслителей о том, что индетерминированность законов физики является необходимым и достаточным условием становления. Поэтому мы сейчас перейдем к рассмотрению этих утверждений.

Согласно таким знаменитым авторам, как Эддингтон, Бергсон, Рейхенбах, Бонди и Дж. Уитроу, отличительным свойством *индетерминистской* вселенной по сравнению с детерминистской является то, что физические события, принадлежащие к настоящему, происходят *теперь*, или приходят в бытие, помимо и сверх того, что они становятся настоящими в *сознании*. Мы рассмотрим аргументы, предлагаемые Бонди, хотя они не более убедительны, чем аргументы Рейхенбаха. Мы намереваемся показать, что, поскольку события испытывают становление, постольку

неопределенность физических законов не является ни достаточной, ни необходимой для того, чтобы придать свойство принадлежности к «теперь», или к настоящему времени, происходящим событиям, то есть установить атрибуты, свидетельствующие о том, что события приходят в бытие. И таким образом наш анализ этих аргументов подтвердит наше первоначальное заключение, что становление требует вовсе не зависимости от неопределенности законов физики, но зависит в значительной степени от макродетерминизма и может быть получено в полностью детерминистском мире. Более того, мы будем настаивать на том, что не только становление событий любого вида, но и временной порядок «раньше» и «позже» среди физических событий зависят по крайней мере от квазидетерминистского характера макрокосма. И тогда станет очевидным, в каком отношении утверждение о том, что детерминистская вселенная должна быть абсолютно лишена времени, покоится на серьезной ошибке в истолковании самого детерминизма.

Рейхенбах утверждает, что «когда мы говорим о движении времени вперед (progress of time) [от раннего к позднему]... мы намереваемся сделать синтетическое [то есть фактуальное] утверждение, которое относится как к непосредственному опыту, так и к физической реальности»¹. И он полагает, что утверждение относительно событий, происходящих в бытие независимо от сознания (и которые отличны от тех, которые происходят безвременно только в грамматическом смысле в определенный момент времени, фиксируемый часами), может быть подтверждено в отношении физической реальности, опираясь на индетерминистскую квантовую механику, с помощью следующего аргумента². В классической детерминистской физике как прошлое, так и будущее определялись по отношению к настоящему взаимно однозначными функциями, хотя даже они отличались друг от друга в том отношении, что имелась возможность непосредственного наблюдения протоколов прошлого и только предсказательные выводы относительно будущего. С другой стороны, если результаты прошлых измерений над квантовомеханической системой *детерминированы* по от-

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, pp. 138—139.

² H. Reichenbach, Les Fondements Logiques de la Mécanique des Quanta, «Annales de l'Institut Poincaré», 13 (1953), pp. 154—157.

ношению к настоящему существующими в настоящее время *протоколами* этих измерений, то измерения, проводимые в настоящее время над одной из двух сопряженных величин, никак *не* детерминируют уникальным образом результаты *будущих* измерений другой сопряженной величины. Таким образом, заключает Рейхенбах, «понятие «становление» приобретает в физике следующее значение: настоящее, которое отделяет будущее от прошлого, представляет собой момент времени, когда то, что недетерминировано, становится детерминированным, и термин «становление» имеет то же самое значение, что и «становиться детерминированным»... По отношению к «теперь» события прошлого детерминированы, тогда как события будущего нет».

Мы присоединяемся к Гуго Бергману¹, отвергавшему эту аргументацию по следующим причинам. В индетерминистском квантовом мире отношения между множествами измеримых значений переменных, характеризующих состояние физической системы в различные моменты времени, *не* являются в принципе взаимно однозначными отношениями, связывающими состояния замкнутой системы, которая ведет себя классическим образом. Но мы можем обоснованно утверждать, например в 1966 году, что это положение имеет силу для данного состояния физической системы и ее абсолютное будущее совершенно не зависит от того, случилось ли данное состояние в полночь 31 декабря 1800 года или в полночь 1 марта 1984 года. Более того, если мы рассматриваем *какую-то* одну из последовательных во времени областей пространства-времени, то мы можем в *любое* время с полным соответствием истине утверждать, что события, принадлежащие к абсолютному прошлому этой частной области, могут быть (более или менее) уникальным образом зафиксированы в протоколах, являющихся частью этой области, в то время как ее частное абсолютное будущее является с этого момента непредсказуемым в квантовомеханическом смысле. Соответственно, *каждое* событие, будь то рождение Платона или рождение какого-то человека в 2000 году, *во все моменты времени* определяет в смысле Рейхенбаха разделение между своим собственным протоколируемым прошлым и своим непредсказуемым будущим, *удовлетворяя тем самым дефиниции «настоящего времени»,*

¹ H. Bergman, Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik, S. 27—28.

или «теперь», предложенной Рейхенбахом, в любой и во все моменты времени. И если бы Рейхенбах должен был ответить, что индетерминированность событий в год рождения Платона уже превратилась в детерминированность, тогда как индетерминированность событий 2000 года — нет, то и на это можно было бы дать следующий ответ: эта временная в грамматическом смысле конъюнкция остается в силе для любого события, происшедшего между 428 годом до нашей эры и 2000 годом нашей эры, которое квалифицируется как «теперь» в течение всего этого интервала на иных основаниях, чем рейхенбаховская асимметрия детерминированности; однако второй член этой конъюнкции не имеет силы ни для какого бы то ни было события после 2000 года, которое квалифицируется после этой даты как момент «теперь».

Поэтому вопреки Рейхенбаху для нетривиального и произвольного выделения мгновения t как настоящего времени, или «теперь», по критерию Рейхенбаха, то есть если мгновение t должно быть уникальным образом выделено в момент t , как происходящее «теперь» в силу того, что оно является порогом, отделяющим переход от недетерминированного к детерминированному, то при этом необходимо молчаливо ссылаться на момент «теперь» концептуального сознания.

Теперь перейдем к Бонди, который говорит:

...течение времени не имеет никакого значения в логически фиксированной схеме, требуемой детерминистской теорией, где время является только координатой. Однако в теории, где имеется индетерминизм, прохождение времени превращает статистические ожидания в реальные события¹.

Если Бонди намеревается сказать этим, что индетерминированность усугубляет нашу человеческую неспособность узнать, какие частные виды событий будут в ходе их действительного свершения материализоваться в фактические, тогда, конечно, не может быть никаких возражений. Ибо в индетерминистском мире атрибуты специфических видов событий, которые существуют на самом деле, не фиксируются уникальным образом свойствами более ранних событий и поэтому непредсказуемы. Однако мы понимаем его так, что он утверждает, кроме этого, еще и следующую тради-

¹ H. Bondi, *Relativity and Indeterminacy*, «Nature», CLXIX (1952), p. 660.

ционную философскую доктрину: в индетерминистском мире события приходят в бытие путем становления и становятся настоящими с течением времени, тогда как в детерминистском мире статус событий состоит в том, что они только случаются, безвременно в грамматическом смысле, в определенные моменты времени. А наши возражения на его апелляцию к превращению статистических ожиданий в реальные события в ходе времени распадаются на несколько пунктов.

1. Поставим вопрос так: какие существуют различия в характере и значении между (микрофизическим) индетерминистским и детерминистским физическим миром в отношении атрибутов событий будущего? Разница касается только типа функциональных связей, соединяющих атрибуты будущих событий с атрибутами событий настоящего или прошлого. Таким образом, применительно к состояниям, существующим в другие моменты времени, индетерминистская вселенная допускает альтернативы атрибутам некоторого события, которое случилось в данное мгновение времени, тогда как детерминистская вселенная не дает никакого соответствующего простора. Но это различие не способствует (микрофизическому) индетерминизму — в противоположность детерминизму — провести различие в *статусах осуществления* событий будущего, позволяя им приходить в бытие. Следовательно, в индетерминистском мире физические события *становятся* реальными (то есть настоящими) не больше и не более воспринимаемы в своем бытии, так сказать, чем события в детерминистском мире. Как в детерминистской, так и в индетерминистской вселенной события могут сохранять приход в бытие, или становление «действительными», путем становления *настоящего времени в (нашем) сознании*, однако становление действительными в силу происходящего таким образом «теперь» способствует независимости от сознания вступления в существование в индетерминистском мире ничуть не больше, чем это имеет место в детерминистском мире.

2. Индетерминированность по сравнению с детерминированностью ничуть не больше способствует какому-либо различию в любое мгновение времени в отношении того, какие *специфические атрибуты внутренне присущи* самим будущим событиям, то есть их существованию (безвременному в грамматическом смысле), такими, как они есть. Ибо во вселенной любого типа осуществление в будущем

именно тех событий, которые произойдут, является таким же логическим фактом, как и существование в настоящем или прошлом именно тех событий, которые происходят или уже произошли в настоящем или прошлом¹. Результат будущего квантовомеханического измерения не может быть определенным до его осуществления в отношении к более ранним состояниям, и, таким образом, наше предварительное знание о нем соответственно также не может быть определенным. Но квантовомеханическое событие имеет безвременной в грамматическом смысле статус существования в определенный момент времени, который полностью совместим с внутренне присущей им атрибутивной определенностью точно так же, как это присуще и измерению, произведенному в детерминистском мире. Вопреки широко распространенной точке зрения это утверждение имеет силу также и для тех событий, которые выражаются энергиями состояний квантовомеханических систем, поскольку энергия *может* быть измерена, согласно этой теории, за произвольно короткое время².

Следует напомнить, что квантовая теория измерения якобы показывает существенное значение *сознания* наблюдателя-человека для определенности квантовомеханического события. У нас нет никаких сведений, полученных из первых рук, относительно технических деталей аргументации,

¹ Я премного обязан профессору Уилфреду Селларсу, который сделал уточняющие замечания по этому вопросу в 1956 году, а также Коста де Борегару, который напомнил мне об уместном французском афоризме: «Ce qui sera, sera» («что будет, то будет»).

² Ааронов и Бом отмечают, что время входит в уравнение Шредингера не как оператор, а только как параметр, и подчеркивают следующее: 1) время некоторой энергии состояния является динамической переменной, относящейся к измерительному аппарату и поэтому *коммутирующей* с энергией наблюдаемой системы; 2) следовательно, энергия состояния и время, в которое она существует, не составляют взаимных пределов друг для друга, подобно хорошо определенному статусу некоммутирующих сопряженных величин соотношения неопределенностей Гейзенберга; 3) анализ иллюстраций измерения энергии (например, с помощью столкновения), которые, кажется, указывают на противоположное, показывает, что экспериментальные устройства, применявшиеся в этих случаях, не исчерпывали измерительных возможностей, санкционируемых теорией [см.: Y. Aharonov and D. Bohm, Time in the Quantum Theory and the Uncertainty Relation for Time and Energy, «Physical Review», 122 (1961), p. 1649, and «Physical Review», 134 (1964), p. B 1417]. (Я весьма признателен профессору Дженису за эту ссылку.)

приводящей к такому выводу. Но мы надеемся, что тем не менее нас извинят, если мы в связи с этим выводом поставим следующий вопрос. Может ли квантовая теория объяснить соответствующие физические события, которые, по-видимому, происходили на поверхности Земли до появления человека и эволюции его сознания? Если это так, тогда точное определение этих физических событий не может зависеть от человеческого сознания. С другой стороны, если квантовая теория не может в принципе иметь дело с доэволюционными физическими событиями, тогда удивительно, почему этот факт не опровергает фундаментальным образом ее адекватности?

В индетерминистском мире отсутствуют атрибуты точного определения событий в их *отношении к событиям, происходящим в другие моменты времени*. Но это отсутствие *отношений* как атрибутов точного определения не может изменить того логического факта, что некоторое событие обладает внутренне присущим ему атрибутом, точно определяющим его бытие (безвременное в грамматическом отношении) в определенный момент времени t , фиксируемый часами¹.

Поэтому было бы ошибкой предполагать, что если некоторое событие индетерминистского мира не принадлежит к настоящему или прошлому (и до тех пор пока оно не принадлежит), данное событие *не должно обладать внутренне присущими* ему точно определяющими атрибутами. Эта ошибка хорошо иллюстрируется утверждением Чапека о том, что в случае некоторого события «только его принадлежность к настоящему времени [то есть принадлежность к моменту «теперь»] порождает его специфичность... элиминируя все остальные возможные свойства, несовместимые с ним»². Подобно Бонди, Чапек упускает из виду, что только в отношении к тому или другому «теперь» некоторое событие может быть будущим, вообще начинаться с него и что отсутствие атрибута специфичности или «неопре-

¹ Оценка имеющегося здесь смысла различия между быть определяющим (то есть внутренне присущим атрибутом) и быть определяемым (в реляционном смысле каузально необходимым или информативно убедительным) дана Дональдом К. Уильямсом. См.: Donald C. Williams, Principles of Empirical Realism, Springfield, Illinois: Charles C. Thomas, 1966, pp. 274ff.

² М. Сапек, The Philosophical Impact of Contemporary Physics, p. 340.

деленность» будущего события не внутренне присуща ему, но зависит от отношения к событиям с точки зрения предшествующих «теперь»¹. В индетерминистском мире некоторое событие обладает внутренне присущим ему атрибутом определенности, будучи (безвременно в грамматическом смысле) тем, чем оно является (безвременно в грамматическом смысле), безотносительно к тому, будет ли время его свершения моментом «теперь» (настоящим временем) или нет. То, что способствует приходу в бытие некоторого будущего события в какой-либо более поздний момент времени t , есть вовсе не то, что его атрибуты являются индетерминированными относительно предыдущих моментов времени, а то, что оно регистрируется в содержании момента «теперь», присущего сознанию в последующий момент времени t .

3. Видимо, смешивают две совершенно различные вещи, когда делают вывод, что в некотором индетерминистском квантовом мире будущие события сами характерным образом приходят в бытие со временем, кроме и помимо того, чтобы только случаться и становиться настоящими по отношению к сознанию, тогда как в детерминистской вселенной они не приходят в бытие: (i) эпистемическое выпадение *де-факто* событий-свойств будущих состояний из числа возможных свойств, допускаемых в ходе времени квантовомеханическими вероятностями, выпадение или становление определенным, которое конструируется путем получения нами *знаний* об этих *де-факто* свойствах в более поздние моменты времени, и (ii) независимый от сознания приход в бытие, кроме и сверх одного только осуществления и становления настоящим, по отношению к осознанию этого в более поздний момент времени. Эпистемическое выпадение на самом деле вызывается прохождением времени благодаря преобразованию только статистических ожиданий в определенные порции доступной информации. Но это *не* дока-

¹ Чапек пишет далее: «Поскольку неопределенность будущего является только видимостью, обязанной своим существованием ограниченности нашего знания, временной характер мира с необходимостью остается иллюзорным». И «принципиальная индетерминированность... означает восстановление становления в физическом мире» (ibid., p. 334). Но даже если допустить, что индетерминированность квантовой теории является онтологической, а не только эпистемологической, то она все же остается относительной и, следовательно, не может служить основанием для вывода Чапека.

зывает, что в индетерминистском мире получается какое-либо становление настоящего («реального») с прохождением времени, чего не получается в детерминистском мире. В мире любого типа становление в отличие от одного только свершения в фиксируемый часами момент времени требует концептуального осознания.

Мы видим, что физические события индетерминистского квантового мира, как таковые, приходят в бытие не более, чем события классического детерминистского мира, но они точно так же происходят безвременно в грамматическом смысле. И наше прежнее утверждение о том, что непрерывное движение «теперь» зависит от сознания и поэтому безотносительно к физическим событиям, остается в силе, как таковое.

Сторонники индетерминизма как физического базиса объективного становления утверждают, что детерминистский мир является безвременным. Так, Чапек пишет:

...будущее в детерминистской схеме... становится чем-то существующим *на самом деле*, разновидностью замаскированного и скрытого настоящего, которое остается скрытым только от нашего ограниченного знания, точно так же как отдаленные области пространства скрыты от нашего взгляда. «Будущее» — это только ярлык, наклеиваемый нами на неизвестные области *настоящей* реальности, которая существует в такой же степени, как и пейзажи, недоступные нашим взорам. И эти скрытые области настоящего являются *современными* с областями, доступными нам, временные отношения между настоящим и будущим элиминируются; будущее теряет свой статус «будущности», поскольку вместо того, чтобы следовать за настоящим, оно *сосуществует* с ним¹.

В том же духе высказывается и Уитроу:

Действительно, имеется глубокая связь между реальностью времени и существованием невычислимого элемента во вселенной. Строгая причинность должна была бы означать, что следствия существуют заранее в посылках. Но если будущая история вселенной логически заранее существует в настоящем, почему она уже не настоящая? Если для строгого детерминиста будущее является просто «скрытым настоящим», откуда приходит иллюзия о временном следовании?²

Однако мы осмеливаемся утверждать, что существует ясное и глубокое различие между отношением взаимно однозначной функциональной связи двух разделенных

¹ М. Сарек, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, pp. 334—335, also p. 164.

² Дж. У и т р о у, *Естественная философия времени*, стр. 378.

во времени состояний, с одной стороны, и отношением временного сосуществования, или одновременности,— с другой. Следует спросить, каким образом тот факт, что будущее состояние уникальным образом *определяется* настоящим состоянием, умаляет значение того, что оно существует позднее, и подразумевает, таким образом, что оно парадоксальным образом существует в настоящем? Не ясно, какую выгоду получает Чапек из двусмысленного употребления терминов «действительное существование» и «сосуществование», смешивая последовательное во времени отношение быть детерминированным настоящим с отношением одновременности—существовать в одно время с настоящим? Таким образом, он ошибочно обременяет детерминизм утверждением, что будущие события существуют «теперь» именно потому, что они детерминируются существующими в данный момент состояниями. Когда он говорит нам, что, согласно точке зрения детерминизма на будущее, «мы уже сейчас мертвы, но не знаем этого»¹, он неверно использует правильную предпосылку, что, согласно детерминизму, настоящее состояние уникальным образом определяет, в какое более позднее время кто-то из нас умрет. Так, он ошибочно ссылается на определенность нашей последующей смерти, как на то, что мы «уже» мертвы, и отсюда делает вывод, что детерминизм включает абсурдное утверждение, что мы мертвы *теперь*. Без этого двусмысленного употребления термина «уже» никакой абсурдный вывод подобного типа невозможен.

Когда Уитроу спрашивает, почему предлагаемое детерминизмом будущее уже не существует в настоящее время, хотя оно «логически заранее существует в настоящем», то на это можно ответить так: именно потому, что существующее в настоящее время радикально отличается в соответствующем временном отношении от того, что он называет «логически заранее существующим в настоящем». Уитроу игнорирует тот факт, что состояния едва ли обязаны быть одновременными только потому, что связь между ними описывается взаимно однозначными функциями. И он получает возможность утверждать, что детерминизм влечет за собой иллюзорность временной последовательности (то есть отношений раньше—позже) только потому, что

¹ М. С а р е к, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, p. 165.

он использует термин «скрытое настоящее» столь же двусмысленно, как Чапек — термин «сосуществует». Но если рассмотреть этот вопрос с более фундаментальной точки зрения, то мы знаем из теории относительности, что события испытывают *временноподобное* разделение одно от другого *в силу их каузальной* связуемости или детерминистической связанности, а не несмотря на эту детерминистическую связанность. И ничто в релятивистской оценке временного порядка не зависит от существования некоего индетерминистического микрофизического субстрата! В самом деле, при отсутствии каузальности, предполагаемой в данной теории в форме причинной (сигнальной) связуемости, остается совершенно неясным, каким образом система отношений между событиями обладала бы некоторой *структурой*, которую мы именуем «временем» физики¹.

Подведем итоги. В этой главе мы изложили свои соображения в пользу отрицания того, что принадлежность к «теперь» или становление во времени имеют право на существование в рамках физической теории, будь то детерминистическая или индетерминистическая теория. С одной стороны, временные отношения «раньше чем», «позже чем» или «одновременно», конечно, по праву существуют для физических событий в смысле, хорошо известном из теории относительности. Следовательно, если время должно охватывать становление или прохождение, тогда *одно* из этих свойств времени зависит от сознания. Однако, характеризуя становление как зависящее от сознания, мы вполне допускаем, что психические события, от которых зависит само становление, требуют биохимической, физической основы или кибернетической металлической модели физической основы.

¹ В соответствии с этим нам следует квалифицировать следующее утверждение Смарта: «Теперь мы можем убедиться также, что взгляд на мир как некое пространственно-временное многообразие не более подразумевает детерминизм, чем это свойственно фаталистической точке зрения, согласно которой будущее «уже сделано». Он совместим как с детерминизмом, так и с индетерминизмом, то есть как с точкой зрения, согласно которой более ранние временные срезы вселенной определяющим образом связаны законами природы с более поздними срезами, так и с точкой зрения, что они таким образом не соотносятся» («Philosophy and Scientific Realism», pp. 141—142). Это утверждение нужно квалифицировать как важное, поскольку оно теряет свою силу, если индетерминизм здесь подразумевается как макроиндетерминизм, то есть как отсутствие макрокосмических каузальных цепей.

ЭМПИРИЗМ И ТРЕХМЕРНОСТЬ ПРОСТРАНСТВА

Успехи эмпиризма в оценке нашего знания относительно трехмерности физического мира тесно связаны с его способностью опровергнуть утверждение Канта, что существование таких *подобных, но неконгруэнтных* двойников, как левая и правая рука, представляет доказательство в пользу его трансцендентального априорного пространства¹. Поскольку доказательства несостоятельности *этого частного* утверждения Канта не даны даже в последовательно (definitive) эмпирической критике Рейхенбахом трансцендентальной идеалистической теории пространства² и недостаточно известны философской публике, мы приведем их краткое изложение.

Если мы возьмем два объекта произвольной (неправильной) формы на евклидовой плоскости, которые в метрическом отношении симметричны, или зеркально «отражаются» относительно прямой на этой плоскости, то можно будет показать, что, поскольку мы ограничиваем данные объекты этой плоскостью, их нельзя совместить в смысле достижения конгруэнтности так, чтобы точки одного совпадали с соответствующими или воображаемыми точками другого. Однако такая конгруэнтность *может* быть достигнута, если мы допустим вращение одного из двух отражаемых

¹ И. Кант, О первом основании сторон в пространстве, «Сочинения в шести томах», 1964, т. 2, стр. 369—379; Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука, там же, т. 4, стр. 101—103.

² Н. Рейхенбах, Kant und die Naturwissenschaft, «Die Naturwissenschaften», Vol. XXI (1933), S. 601—606, 624—626; «Relativitätstheorie und Erkenntnis Apriori», Berlin: J. Springer, 1920; «The Philosophy of Space and Time».

двухмерных объектов вокруг оси симметрии, используя тем самым следующее (третье) измерение. Лешелье приписал Дельбефу установление следующей закономерности: если даны два ($n - 1$)-мерных объекта, метрически симметричных относительно некоторого ($n - 2$)-мерного объекта, тогда для достижения их конгруэнтности, то есть того, чтобы точки одного совпали с соответствующими или воображаемыми точками другого, необходимо непрерывное вращение в n -мерном пространстве¹. Следует отметить, однако, что требование вращения в гиперпространстве не является неограниченным: оно остается справедливым для таких пространств, топология которых является евклидовой или сферической, однако теряет свою справедливость для двухповерхностной ленты Мёбиуса или для одномерного пространства, топология которого представляет собой топологию цифры 8.

Соответственно этому при помощи непрерывного перемещения фигуры как твердого тела нельзя достигнуть конгруэнтности трехмерной правой руки с трехмерной левой рукой именно в силу того эмпирического факта, что для подобного вида вращений необходимо четырехмерное пространство, которого физически в наличии не имеется. Этот же факт позволяет нам сделать вывод о трехмерности, но не о двухмерности оптически активных молекул на основании того, что они вращают плоскость поляризации света либо вправо, либо влево. Ибо, если бы они были только двухмерными, тогда было бы возможно превратить данную правовращающую молекулу в левовращающую путем только ее поворота (*flipping it over*). Но этого сделать нельзя².

Вопреки Канту специфическое структурное различие между правой и левой рукой может быть дано и концептуально, а не только как указание на интуитивную характеристику³: группа движений в евклидовом пространстве,

¹ G. L e c h a l a s, L'Axiome de libre Mobilité, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VI (1898), p. 754. Это свойство отражений было отмечено еще Мёбиусом («Der Barycentrische Calcul», Leipzig, Barth, 1827, S. 184).

² См.: J o h n R e a d, A Direct Entry to Organic Chemistry, London: Methuen & Co., 1948, Chap. vii.

³ См.: Ф. Клейн, Элементарная математика с точки зрения высшей, т. II, М.—Л., 1934, стр. 61—64. H. W e y l, Philosophy of Mathematics and Natural Science, pp. 79—85. Более элементарный анализ см. в: O. H ö l d e r, Die Mathematische Methode, S. 387—389.

при которых тела сохраняют жесткость, представляет собой только *собственную* подгруппу группы отображений подобия, в которых сохраняется длина («неудлиняющих»). Ибо определитель коэффициентов частных линейных преобразований, составляющих последний тип отображений подобия, должен быть равен либо $+1$, либо -1 . Но только те отображения подобия, определитель которых («якобиан») равен $+1$, составляют группу евклидовых движений жестких тел¹, остальные являются *отражениями*, их якобиан равен -1 , и они *включают* в себя *кантовский случай с правой и левой рукой*². Но именно существование последней пары физических объектов в нашем физическом трехмерном пространстве, где реализуются формальные преобразования, якобиан которых равен -1 , является *эмпирическим фактом*, как и несуществование *физического* четырехмерного гиперпространства, в котором их можно было бы в противном случае развернуть с целью достижения конгруэнтности.

Поскольку трехмерность физического пространства представляет собой с логической точки зрения случайный эмпирический факт, то, естественно, возникает желание узнать, не является ли трехмерность автономным, не сводимым ни к чему эмпирическим фактом по отношению к стандартным формулировкам физической теории или нет. В оптике принцип Гюйгенса говорит нам, что, если единичная сферическая световая волна порождается в некоторой точке возмущением, которое длится в течение очень короткого промежутка времени между $t = t_0 - \varepsilon$ и $t = t_0$, тогда

¹ Пусть F_1 и F_2 — две функции от u и v . Тогда

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial u} & \frac{\partial F_1}{\partial v} \\ \frac{\partial F_2}{\partial u} & \frac{\partial F_2}{\partial v} \end{vmatrix} = \frac{\partial F_1}{\partial u} \cdot \frac{\partial F_2}{\partial v} - \frac{\partial F_1}{\partial v} \cdot \frac{\partial F_2}{\partial u}$$

является функциональным определителем, или якобианом F_1 и F_2 относительно u и v . В случае трехмерности, к которому относится неконгруэнтность рук, мы имеем дело с тремя функциями F_1 , F_2 и F_3 от u , v и w и соответствующий якобиан представляет собой определитель трех рядов и трех колонок.

² Требование сохранения размерности при преобразованиях состоит в том, чтобы якобиан *не* был равен нулю; последнее условие является необходимым и достаточным для того, чтобы преобразование было взаимно однозначным. См.: R. S. Burlington and C. C. Torrance, Higher Mathematics, New York: McGraw-Hill Book Co., 1939, pp. 132—142.

эффект, вызываемый ею в точке P на расстоянии sT (где s = скорость света), равен нулю вплоть до мгновения $t = t_0 - \varepsilon + T$ и вновь равен нулю после мгновения $t = t_0 + T$. Таким образом, согласно принципу Гюйгенса, единичная сферическая волна не оставляет никакого остаточного последствия в точке P . Далее, Хадамард показал¹, что этому требованию, выраженному в принципе Гюйгенса, удовлетворяют только волновые уравнения, имеющие четное число независимых переменных. Поскольку независимыми переменными в этих уравнениях являются временная переменная плюс три пространственные переменные, результат, полученный Хадамардом, доказывает, что принцип Гюйгенса сохраняет силу только для случаев, в которых число измерений пространства является нечетным, что и имеет место в случае трехмерного физического пространства нашего мира². Разделяя мнение Аристотеля и Галилея, согласно которому трехмерность физического пространства можно объяснить как следствие других более широких эмпирических принципов, Вейль высказал мысль³, что различие пространства с четным и нечетным числом измерений относительно распространения волн может послужить ключом к искомому объяснению⁴.

Вопреки широко распространенной интерпретации объяснение Пуанкаре трехмерного статуса пространства вполне совместимо с той эмпирико-реалистической концепцией данных атрибутов физического мира, которая излагается здесь. В своих возражениях Расселу Пуанкаре, не развивая далее своей мысли, говорит: «Я рассматриваю аксиому трех измерений как конвенциональную точно так же, как и аксиомы Евклида»⁵. Однако в своей посмертно изданной

¹ J. Hadamard, Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equations, New Haven: Yale University Press, 1923, pp. 53—54, 175—177, 235—236.

² Объяснение этого результата путем ссылки на специальные случаи трех и двух измерений см. в: В. Вакер and E. Т. Сорсон, The Mathematical Theory of Huyghens's Principle, Oxford: Oxford University Press, 1939, pp. 46—47.

³ H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science, op. cit., p. 136.

⁴ См. также: P. Ehrenfest, In What Way Does It Become Manifest in the Fundamental Laws of Physics That Space Has Three Dimensions?, «Proceedings of the Amsterdam Academy», Vol. XX (1917), pp. 200—209.

⁵ H. Poincaré, Sur les Principes de la Géométrie, op. cit., p. 73.

книге¹ он пишет, что, поскольку его ранняя трактовка этой аксиомы была «очень краткой», он теперь хотел бы разъяснить ее. Затем, объяснив, что при классификации элементов многообразия как тождественных в некотором отношении мы пользуемся «фундаментальным соглашением» об абстрагировании от других качественных различий между ними, он отмечает, что трехмерность перцептуальной локализации физических событий получается в результате абстрагирования от множества качественных *непозиционных* различий между ними. Однако «соглашение» в этом смысле не лишает трехмерность объективности, равно как и ссылки на некоторые события не превращают конкретные причинные утверждения в истинные только по соглашению. То, что для Пуанкаре это было, по существу, ясно, становится очевидным из следующего его утверждения: «В этом кратком изложении мы показали, каковы те экспериментальные факты, которые заставляют нас приписывать пространству три измерения. Учитывая эти факты, нам более удобно приписать ему три, а не четыре или два измерения; но слово «удобный», пожалуй, в данном случае недостаточно строго; существо, которое приписало бы пространству два или четыре измерения, оказалось бы в мире, подобном нашему, менее приспособленным к борьбе за существование»². Объяснив, какие помехи для нас будут возникать при интерпретации пространства, как двух- или четырехмерного, он показывает на основе теоретико-групповых аргументов³, что в случае причинных связей физические факты приводят к трехмерности физического пространства точно так же, как и структура перцептуальных данных. И он заканчивает свои рассуждения утверждением, что поскольку мы обладаем способностью построения математического континуума с произвольным числом измерений, то «эта способность могла бы развиваться в различных направлениях; она могла бы нам позволить построить пространство четырех измерений так же хорошо, как и трех измерений. *Только внешний мир, только опыт* побуждают нас развивать эту способность в одном направлении, а не в другом»⁴.

¹ А. Пуанкаре, Последние мысли, Пг., 1923, стр. 34.

² Там же, стр. 47.

³ Там же, глава III, стр. 47—50.

⁴ Там же, стр. 53 (курсив мой.—А. Г.). См. также: O. Hölder, Die Mathematische Methode, S. 393.

Математическая непрерывность, которая приписывается физическому пространству, является *топологическим* свойством так же, как и его трехмерность. Поэтому мы завершим наши рассуждения о философских проблемах *топологии* времени и пространства во II части данной книги исследованием вопроса о том, может ли непрерывность иметь какой-либо эмпирический статус.

В первой главе мы говорили о том, что непрерывность, которая постулируется для физического пространства и времени, выражается в метрической аморфности этих многообразий и определяет тем самым конвенциональный характер конгруэнтности примерно так же, как конвенциональный характер нелокальной метрической одновременности в специальной теории относительности является следствием аксиоматических положений, согласно которым распространение света в вакууме представляет собой наиболее быструю причинную цепь и что часы при транспортировке не определяют абсолютной метрической одновременности. Однако против этого возражают, говоря, что существует важное эпистемологическое различие между последним постулатом Эйнштейна и постулированием именно непрерывной, а не дискретной структуры (в математическом смысле) физического пространства и времени: постулат непрерывности является справедливым, по определению, и он не может даже в принципе рассматриваться как *фактуальное* утверждение в смысле проверки его истинности или ложности. Ибо, согласно этому возражению, не существует никаких *эмпирических* оснований для допущения, что геометрия, постулирующая непрерывные интервалы, имеет преимущество перед геометрией, постулирующей дискретные интервалы, составленные, скажем, только из алгебраических или только из рациональных точек. Возражающий, следовательно, утверждает, что отрицание счетной геометрии последнего типа в пользу несчетной геометрии, провозглашающей непрерывность, не имеет никаких фактуальных гарантий и основывается только на соображениях *арифметического удобства* в рамках аналитической геометрии. И поэтому утверждают, что *топология* в такой же степени, как и метрика, должна быть насыщена свойствами, которые определяются конвенциональным выбором. В соответствии с этим сторонники подобных критических замечаний делают вывод, что ошибочно не только подчеркивать, но и вообще говорить

о выделении конвенциональных геометрических элементов только в *метризации* топологического субстрата, исходя из предположения о том, что *непрерывность* этого субстрата должна быть фактуальной.

Однако это оправдание конвенционалистской концепции непрерывности неубедительно. Общеизвестно, что подтверждение точки зрения на непрерывность как на широкий *индуктивный схематизирующий принцип* физической геометрии нельзя получить непосредственно, оперируя измерительными стержнями, которые позволили бы точно установить, что количество точек на линии несчетно. И prima facie весьма правдоподобно утверждение, что постулирование, кроме счетного множества рациональных точек, также и несчетной бесконечности иррациональных точек, диктуется только стремлением к таким математическим удобствам, как допустимость извлечения квадратного корня и т. д. Однако, даже если не обращать внимания на трудности, вытекающие из апорий Зенона, которые могли бы поколебать в логическом плане доверие к геометриям, где не выполняется аксиома непрерывности, о чем мы говорили в шестой главе, рассмотренные выше соображения, по-видимому, во многом теряют свою силу, если проверить их на лакмусовую бумагу соглашения, применив ее к решению вопроса о справедливости в физической геометрии конвенционалистской концепции непрерывности. Известно, что можно доказать допустимость одной или нескольких *сменяющих друг друга* формулировок, которые обходятся без ссылок на соглашения и позволяют при этом дать удовлетворительно теоретическое истолкование одной и той же совокупности экспериментальных данных, как это имеет место в случае выбора той или иной системы единиц измерений.

Что же мы находим, проведя эту проверку? Оказывается, не доказано, что какая-либо альтернативная система прерывных в математическом смысле теорий столь же жизнеспособна, как и системы, основанные на непрерывности, то есть не доказано, что эти два вида теорий должны быть *в принципе* эмпирически неотличимы один от другого¹.

¹ Файерабенд высказал мысль [«Comments on Grünbaum's „Law and Convention in Physical Theory”» в H. Feigl and G. Maxwell (eds.), *Current Issues in the Philosophy of Science*, pp. 160—161], что *experimentum crucis* между непрерывным и прерывным описанием природы логически возможен, и дал краткое описание такого эксперимента.

Коль скоро не доказана эмпирическая адекватность хотя бы одной реально завершенной альтернативной теории, которая являлась бы прерывной, обвинение в том, что топологический компонент непрерывности является в геометрии не менее конвенциональным, чем сама метрика, представляется *необоснованным*. Поскольку успешная разработка гипотезы, которая является альтернативой гипотезе непрерывности, не завершена, то возникают следующие подозрения: в наших наиболее точных и хорошо обоснованных физических теориях эмпирические факты приведены в систему с помощью аппарата классической математики, что и говорит в пользу гипотезы о непрерывности, которую в широком *индуктивном* смысле следует рассматривать как *основополагающий* (framework) *принцип* в отличие от ее prima facie конкурентов.

Было бы ошибкой полагать, что этот вывод требует серьезных оговорок в свете недавних идей о квантовании пространства (или времени). Ибо, как отмечает Вейль, до сих пор она [то есть атомистическая теория пространства] всегда оставалась только спекуляцией и никогда не достигала достаточного контакта с реальностью. Как на основе этой идеи следует понимать метрические отношения в пространстве? Если квадрат построен из миниатюрных кирпичиков, тогда вдоль его диагонали будет столько же этих кирпичиков, сколько и вдоль его стороны; таким образом, длина диагонали должна была бы равняться длине его стороны¹.

Эйнштейн также отмечал, что:

Из квантовых явлений, по-видимому, следует, что конечная система с конечной энергией может полностью описываться конечным набором чисел (квантовых чисел). Это, кажется, нельзя совместить с теорией континуума и требует для описания реальности чисто алгебраической теории. Однако сейчас никто не знает, как найти основу для такой теории².

Намереваясь установить *необоснованность* конвенционалистской концепции непрерывности, мы отнюдь не утверждаем, что доказали ее ошибочность. Файерабенд считал³, что отсутствие в данное время прерывной альтернативы современной физической теории «ничего не доказывает»,

¹ H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, p. 43.

² А. Эйнштейн, *Релятивистская теория несимметричного поля*, «Собрание научных трудов», т. II, стр. 873.

³ P. K. Feysabend, *Comments on Grünbaum's «Law and Convention in Physical Theory»*, p. 160.

поскольку «в конце концов полная теория непрерывности не была разработана вплоть до второй половины девятнадцатого столетия». Однако Файерабенд упустил здесь из виду, что наша аргументация устанавливает *необоснованность* конвенционалистской концепции непрерывности, показывая, что в лучшем случае ее защитники предлагают только *программу*.

Можно ли усилить нашу аргументацию ссылкой на неудачу попыток неинтуитивистов обойтись без континуальной геометрии и анализа, предложив им повсюду в классической математике соответствующую замену? Эти усилия неинтуитивистов обосновать классическую математику на более ограниченных основаниях потерпели неудачу в связи с введением процедуры обрезания в математической физике, сферу направления которой Френкель охарактеризовал следующим образом:

интуитивистское ограничение понятия континуума и его применения в анализе и геометрии, хотя и выполнялось совершенно различными методами в различных интуитивистских школах, всегда проводилось лишь постольку, поскольку исключало жизненно важные разделы этих двух областей. (Это же относится и к специфическому методу Брауэра, который допускал континуум *per se* как «среду свободного роста».)¹

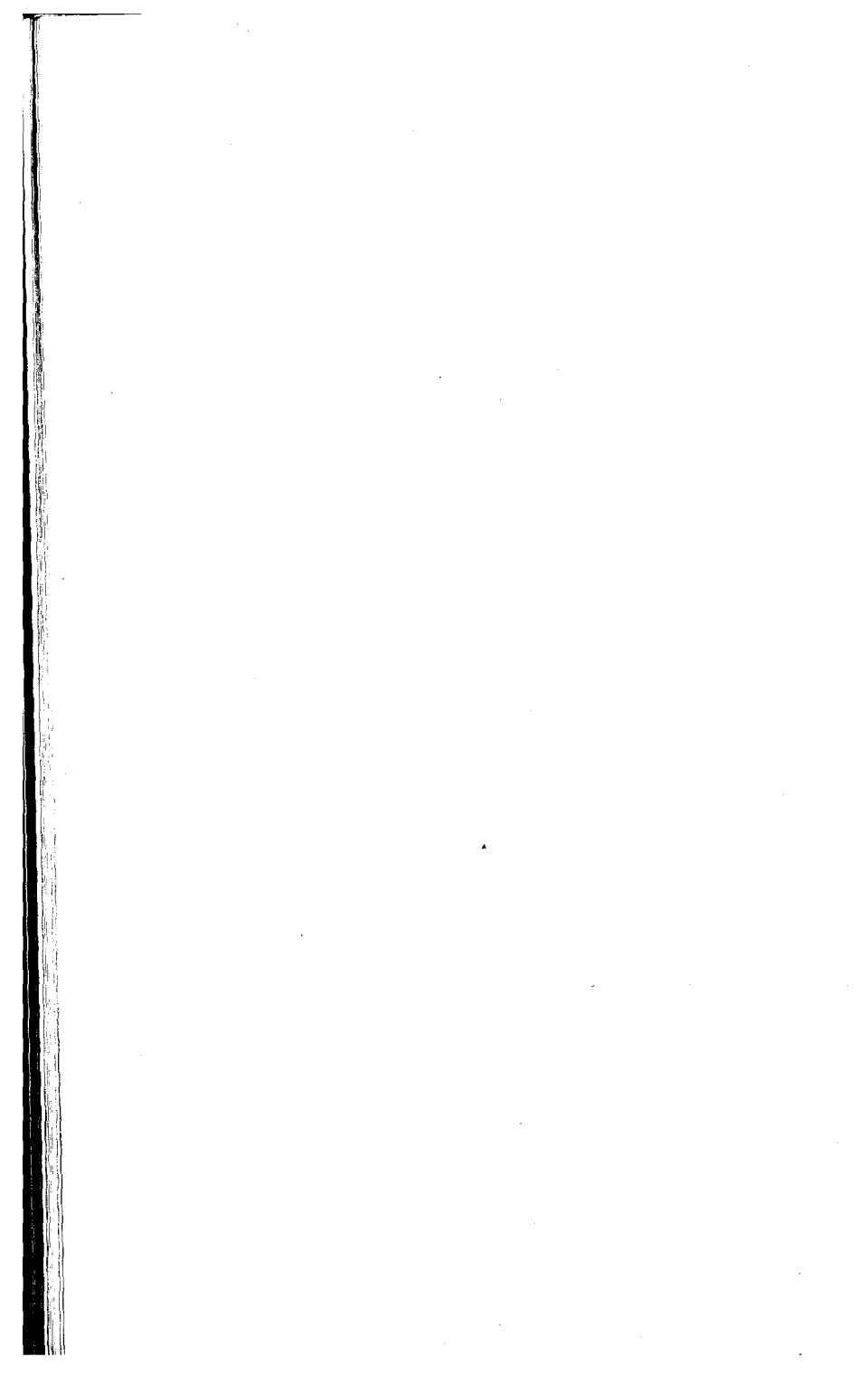
Однако, как правильно отмечает Файерабенд, неудача неинтуитивистов не может рассматриваться как усиление нашей аргументации.

Ибо мы не стремимся к повторению в новых терминах классической математики *в целом*; то, чего мы добиваемся, представляет собой новую математическую систему, которая могла оказаться адекватной для описания вселенной, представляющей собой также достаточно определенную систему, чтобы был возможен решающий эксперимент².

¹ A. A. Fraenkel and Y. Bar-Hillel, *Foundations of Set Theory*, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1958, p. 200. Глава четвертая этой работы дает исчерпывающий очерк того, в каких отношениях неинтуитивистские ограничения влекут за собой искажения системы классической математики. (есть русск. перев., «Мир», 1966).

² P. K. Feysabend, *Comments on Grünbaum's «Law and Convention in Physical Theory»*, p. 161.

Часть III
ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



ФИЛОСОФСКИЕ ОСНОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

А. Введение

Со времени выхода в свет в двадцатых годах¹ обстоятельных работ Рейхенбаха по философским вопросам теории относительности литература по специальной теории относительности пополнилась публикациями, которые требуют критической оценки. В этой главе мы дадим такую оценку в ходе изложения современного анализа философских и эмпирических оснований кинематики специальной теории относительности, тесно связанных между собой, уделяя при этом особое внимание малоисследованным проблемам и распространенным ошибочным концепциям. При этом будет показано, что точное понимание философских понятий, лежащих в основе специальной теории относительности в ее развернутой форме, и проведение четкого различия между этой теорией и ее предшественницами являются решающими предпосылками для а) постановки и проведения хорошо продуманных исследований по историческим вопросам, связанным со специальной теорией относительности, и, следовательно, б) получения исторически убедительной оценки, проливающей свет на генезис этой теории.

В частности, будет полезно рассмотреть предпосылки а) и б) в следующих разделах:

Б. Эйнштейновская концепция одновременности, ее история и наиболее распространенные ошибочные интерпретации.

В. История введения Эйнштейном принципа предельности скорости света в вакууме.

Г. Принцип постоянства скорости света и ошибочность гипотезы сокращения, выдвинутой сторонниками теории эфира Лоренцом и Фицджеральдом.

¹ H. Reichenbach, *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre*, «Die Wissenschaften», Bd 72; «The Philosophy of Space and Time».

Д. Экспериментальное подтверждение кинематики специальной теории относительности.

Е. Разногласия между Эйнштейном и его предшественниками — сторонниками теории эфира и их значение в истории возникновения специальной теории относительности в понимании Уайттекера.

Хотя исторические разделы этой главы подчеркивают необходимость полного овладения философским содержанием специальной теории относительности для понимания ее истории, мы вовсе не хотим отрицать, что история специальной теории относительности в свою очередь может иметь значение для понимания философских ингредиентов этой теории. Напротив, исторические исследования могут осветить с философской точки зрения эти проблемы, раскрывая, например, изменение философской интерпретации теории относительности самим Эйнштейном, объясняя тем самым, как указал Холтон, почему каждый из приверженцев конкурирующих философских школ может «найти отдельные места в работах Эйнштейна, которые он может поднять на своей мачте как боевое знамя в борьбе против других»¹. Несмотря на то что история теории способна послужить в качестве пропедевтики к анализу ее философских оснований, до сих пор случалось так, что надежные знания по истории специальной теории относительности, как мы это увидим, оказались не в состоянии послужить сигналом и тем самым внести вклад в прояснение более тонких вопросов, связанных с ее *эпистемологическим* базисом. Мы покажем, что некоторые исторические оценки страдают серьезными противоречиями, которые заводят в тупик.

Б. Эйнштейновская концепция одновременности, ее история и наиболее распространенные ошибочные интерпретации

Эйнштейн рассматривал проблему одновременности с эпистемологической точки зрения в первом разделе своей статьи 1905 года², то есть перед тем, как он в конце второго

¹ G. H o l t o n, On the Origins of the Special Theory of Relativity, «American Journal of Physics», Vol. XXVIII (1960), p. 627.

² А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 8 и сл.

раздела доказал, что два фундаментальных постулата его специальной теории относительности подразумевают несоответствие одновременности, установленной для двух галилеевых систем, находящихся в состоянии движения относительно друг друга. И он подчеркивает в первом разделе, хотя, пожалуй, и довольно неопределенно, что в противоположность теории Ньютона метрическая одновременность двух пространственно разделенных событий подразумевает соглашение *в рамках* любой данной инерциальной системы. Тем не менее в многочисленных изложениях специальной теории относительности внушается неверное понимание, согласно которому философское отрицание ньютоновской абсолютной одновременности специальной теорией относительности происходит *в первую очередь* в силу относительного движения различных инерциальных систем. Мы подробно покажем, почему рассмотрение разногласий в утверждениях об одновременности, сделанных в различных галилеевых системах, как *основного* нововведения Эйнштейна в понятие одновременности является ошибочным. Это ошибочное толкование приводит к следующим результатам: во-первых, оно затушевывает тот факт, что отказ Эйнштейна от ньютоновской концепции одновременности по философским соображениям и замена ее другой предполагается еще до того, как новая концепция выводится из сформулированного им фундаментального постулата постоянства скорости света, и, во-вторых, она мешает понять, что философская оценка Эйнштейном разноместной одновременности как *конвенциональной* опирается на точно определяемые *физические предпосылки* и тем самым мешает установить логическое значение, которое имеют эти частные физические предположения в самих основаниях специальной теории относительности.

Неверное философское истолкование эйнштейновской концепции одновременности имеет важное значение в исследованиях по истории специальной теории относительности. Недостаточная философская квалификация историка не позволяет ему увидеть, что существует определенная историческая проблема, а именно, на каких основаниях Эйнштейн считал возможным в 1905 году сделать вывод, что он имеет право выдвинуть частные физические предположения, которые явились основой его философской доктрины о конвенциональном характере одновременности пространственно разделенных событий.

Эта доктрина очень сжато изложена в первом разделе его статьи 1905 года, озаглавленном «Определение одновременности». Там он писал: «Однако невозможно без дальнейших предположений сравнивать во времени какое-либо событие в A с событием в B ; мы определили пока только « A -время» и « B -время», но не общее для A и B «время». Последнее можно установить, *вводя определение*, что «время», необходимое для прохождения света из A в B , равно «времени», требуемому для прохождения света из B в A »¹. Эта концепция одновременности основывается на нескольких философских и физических предположениях, которые мы сейчас и обсудим.

Ясно, что смысл, в котором два пространственно разделенных события могут быть одновременными, отличен от смысла, в котором два квазисовпадающих события могут рассматриваться как одновременные; в последнем случае квазисовпадения получается локальная или смежная одновременность, а не одновременность на расстоянии. Можно подумать, что одновременность удаленных друг от друга событий может быть легко установлена на основании локальной одновременности с помощью следующей процедуры. Предположим, что два пространственно разделенных события E_1 и E_2 производят воздействия, которые сходятся в органах чувств наблюдателя и вызывают у него переживаемую ощущаемой (интуитивной) одновременности этих событий с самим собой. В таком случае эта локальная одновременность воздействий E_1 и E_2 разрешает нам сделать вывод, что эти удаленные события произошли одновременно, если цепи воздействия, распространявшиеся от них, имели соответствующие скорости в одном направлении, когда они проходили соответствующие расстояния до точки фиксирования их органами чувств наблюдателя. Однако подобная процедура ничего не дает для установления условий, при которых разделенные в пространстве события E_1 и E_2 можно рассматривать как одновременные. Ибо *одинаковые* скорости, на которые ссылаются при данной методике, предполагают *одинаковые времена прохождения*, что и обеспечивает *синхронизацию* часов в местах расположения событий E_1 и E_2 соответственно. А условия синхронизации пространственно разделенных часов предполагают в свою

¹ А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. 1, стр. 9.

очередь установление критерия одновременности для событий, происходящих около этих часов¹.

Эти соображения дают нам возможность продемонстрировать полную неудачу попытки Уайтхеда обосновать понятие одновременности разноместных событий в физической теории на совпадениях чувственных переживаний наблюдателя². Во-первых, существует несовместимость между основанными на чувственных восприятиях заключениями относительно данной пары разноместных событий, которые выносятся наблюдателями, расположенными в разных точках пространства одной и той же инерциальной системы: если воздействия, излученные двумя пространственно разделенными событиями E_1 и E_2 , сходятся в точке P_1 таким образом, что вызывают чувственное совпадение в сознании наблюдателя, расположенного в P_1 , тогда будут существовать *другие* точки P_2, P_3, \dots, P_n в той же самой инерциальной системе, где те же самые события E_1 и E_2 не вызовут чувственных совпадений у наблюдателей, расположенных соответственно в этих точках³. И если Уайтхед хочет избежать этой *противоречивости* разных заключений о чувственно воспринимаемой одновременности и достигнуть какого-то согласия с физической теорией, он должен наложить *ограничение* на возможность приписывания отношения одновременности, опирающегося на чувственные восприятия. Одновременными событиями были бы в таком случае только те цепи воздействия, которые характеризуются однонаправленными физическими скоростями и встречаются с наблюдателем после того, как они прошли соответствующие расстояния. Однако информация относительно однонаправленных скоростей, которая нужна Уайтхеду для уверенности в правильной интерпретации чувственных совпадений как критериев одновременности, предполагает предварительное наличие критерия одновременности или синхронизации часов, чувственного совпадения показаний которых Уайтхед не может достигнуть, не впадая в порочный круг.

Поэтому следует поддержать отрицание Эйнштейном

¹ H. Reichenbach, Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre, S. 12—17; «The Philosophy of Space and Time», pp. 123—126.

² A. N. Whitehead, The Concept of Nature, pp. 53, 56.

³ См.: F. S. C. Northrop, Whitehead's Philosophy of Science, p. 200.

чувственно воспринимаемой одновременности как основания физической одновременности разноместных событий. Его конструктивное предложение, альтернативное неудачной попытке Уайтхеда, можно понять исходя из его отказа от следующих предположений как философского, так и физического характера, выдвигавшихся в теории Ньютона.

В противоположность абсолютистской концепции пространства и времени, присущей теории Ньютона, специальная теория относительности покоится на следующих представлениях о тождестве событий и их временном порядке: во-первых, до построения какой-либо системы координат физические вещи и события определяют прежде всего своим собственным тождеством точки и мгновения, которые могут затем оказаться пространственными и временными местоположениями других физических объектов и событий, и, во-вторых, временной порядок физических событий прежде всего определяется их собственными свойствами и отношениями как физических событий. Утверждая, что именно *существование временных* отношений между несовпадающими событиями зависит от наличия *физических* отношений между ними, Эйнштейн поддерживает такую концепцию времени (и пространства), которая является *реляционной* в том смысле, что рассматривает его как систему отношений между физическими событиями и вещами. Поскольку временные отношения определяются прежде всего системой физических отношений, существующих между событиями, постольку характер временного порядка будет определяться физическими атрибутами, в силу которых они будут характеризоваться отношениями «одновременно с», «раньше чем» или «позже чем». В частности, только физические факты могут дать ответ на вопрос, определяют ли подобные физические атрибуты временные отношения *уникальным образом*, то есть так, что если имеются какие-то атрибуты, то каждая пара событий *однозначно* упорядочивается одним из отношений «раньше чем», «позже чем» или «одновременно с». Если бы временной порядок имел именно такой характер, он был бы «абсолютным» в том смысле, что временные отношения между любыми двумя событиями уникальным образом выводились бы из *фактуальных* отношений между ними, они совершенно не зависели бы от какой-либо частной системы отсчета и, следовательно, были бы одними и теми же в каждой системе отсчета. Если бы это имело место в случае с одновремен-

ностью, отсюда вытекал бы следующий *физический факт*, а именно *одно и только одно событие* в точке Q было бы одновременным с данным событием, происшедшим в точке P или где-нибудь в другом месте. Такое положение мы характеризуем для краткости как «выводимое *уникальным* образом фактуальное отношение».

Однако существует ли в действительности физическая основа *абсолютной* одновременности пространственно разделенных событий? Если бы поведение часов при их транспортировке было таким, как это предполагается в теории Ньютона, тогда, конечно, можно было бы говорить о существовании абсолютной одновременности только в силу совпадения физических событий с соответствующими показаниями транспортируемых часов одинаковой конструкции. Однако теория относительности отрицает существование именно такой основы абсолютной одновременности, как наличие физических часов. Ибо в ней выдвигается следующее предположение, которое мы впредь будем именовать «предположение (i)»: в рамках класса физических событий отношение абсолютной одновременности не определяется транспортировкой материальных часов, потому что отношения одновременности, определяемые транспортировкой часов, зависят от применяемых частных часов. Если двое часов U_1 и U_2 первоначально синхронизированы в одном и том же месте A , а затем по траекториям *различной протяженности* переправлены в другое место B , причем их прибытие в B совпадает, тогда U_1 и U_2 уже не будут более синхронизированы. А если U_1 и U_2 переносятся в B по одной и той же траектории (или по разным траекториям, но одинаковой протяженности), причем их прибытие в B не совпадает, то и в этом случае нарушится их первоначальная синхронизация. Таким образом, данная пара событий либо будет рассматриваться как одновременная, либо нет в зависимости от того, какие из не согласованных между собой часов мы будем принимать в качестве стандарта. Следовательно, данная зависимость от частных часов, которые используются в этой методике, не позволяет рассматривать транспортировку часов как основу определения отношений абсолютной одновременности в пределах класса физических событий. И это *также* побудило Эйнштейна к *отрицанию* возможности установить, опираясь на показания часов, физический базис одновременности двух пространственно разделенных событий E и E^* в рамках единой

инерциальной системы. Двое часов U_1 и U_2 перемещаются в пространстве из общей точки, где они давали идентичные показания, в разные места, а затем в точке расположения часов U_1 происходит событие E , а в точке расположения часов U_2 происходит событие E^* , причем показания часов U_1 и U_2 являются одинаковыми.

Неудача попытки установить отношение абсолютной одновременности между пространственно разделенными событиями с помощью транспортировки часов не доказывает, однако, что не существует также никаких других физических связей между событиями, которые способствовали бы установлению искомых отношений. Однако между несовпадающими и *разделенными в пространстве* событиями физические отношения того или иного вида могут существовать только в силу наличия или отсутствия между этими событиями действительных (или возможных) физических связей. И по-видимому, непосредственная физическая связь, соединяющая события этого типа, может быть получена только с помощью *причинных цепей*, крайними членами которых они являются.

Рассмотрим поэтому, при каких условиях пары пространственно разделенных событий могут быть одновременными. Если отношения временного порядка между парами пространственно разделенных событий зависят от наличия или отсутствия физического отношения *причинной связуемости* между ними, то не мешает посмотреть, при каких условиях эти пары будут одновременными. Напомним, в седьмой и восьмой главах мы говорили о том, что 1) характеристика *одного* из двух причинно связанных (или связуемых) и генетически тождественных событий как «данной» (возможной, частичной или полной) причины другого предполагает анизотропию времени и 2) что наша оценка анизотропии времени, то есть физического базиса отношений «раньше чем» и «позже чем» в свою очередь предполагает одновременность удаленных друг от друга событий. Следовательно, предстоящее утверждение относительно одновременности, которое опирается на отсутствие причинной связуемости, приведет нас только к симметричному причинному отношению, описанному в седьмой главе. Оно ничего не говорит о том, имеются ли физические критерии для выделения одного из двух причинно связанных событий как «данной» (частичной или полной) причины другого. Только после введения понятия одновременности в оценку анизотропии

времени, что превращает его в логически необходимое, мы сможем опереться на данное определение для решения вопроса о том, какое из двух причинно связанных событий произошло раньше. В соответствии с этим мы теперь утверждаем: если и только если несовпадающие события испытывают симметричные отношения генетического (или квазигенетического) тождества в смысле причинной *связуемости*, о которой говорилось в седьмой главе, то об этих двух событиях следует сказать, что они испытывают отношение *разделения во времени*, то есть одно из них произошло либо позже, либо раньше. И следовательно, о двух событиях можно будет сказать, что они испытывают отношение «быть ни раньше, ни позже», то есть отношение *топологической одновременности*, или что они характеризуются *пространственно* подобным разделением, если и только если между ними невозможна причинная связуемость оговоренного выше типа.

Если физическим базисом для отношения топологической одновременности между событиями является невозможность для них быть крайними членами цепей воздействия, то следует спросить: возможно ли в природе с физической точки зрения существование таких причинных цепей, которые *уникальным* образом определяли бы систему временных отношений, где каждая пара событий занимала бы вполне определенное место по отношению к разделенности во времени и топологической одновременности? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим четыре события E_1 , E_2 , E_3 и E , которые удовлетворяют следующим условиям: во-первых, E_1 , E_2 и E_3 генетически связаны между собой с помощью светового луча, так что E_2 во времени находится между E_1 и E_3 , и, во-вторых, E , E_1 , E_3 также генетически связаны между собой, но не с помощью светового луча, а иначе, так что E во времени находится в *o*-отношении «между» E_1 и E_3 . Все эти три события происходят в *одной и той же* точке P_1 инерциальной системы, тогда как E_2 происходит в другом месте P_2 той же инерциальной системы. Далее, пусть E_x , E_y и E_z будут событиями, которые находятся во временном *o*-отношении «между» E_1 и E , так что E_x находится в *o*-отношении «между» E_1 и E_y , тогда как E_y находится в *o*-отношении «между» E_x и E_z . И наконец, пусть E_α , E_β и E_γ будут в *o*-отношении «между» E и E_3 , как это видно на следующей диаграмме мировых линий, которые, однако, лишены каких-либо стрелок, указывавших бы на

анизотропию времени как на основу (внутренне присущей) характеристики положительного направления времени.

Как уже говорилось в седьмой и восьмой главах, это направление может, конечно, быть введено чисто внешним образом с помощью простой координации, основывающейся на показаниях стандартных часов. Однако мы отложим пока такое введение координат, поскольку считаем более поучительным показать, что тезис Эйнштейна о конвенциональном характере метрической одновременности может быть сформулирован и без него.

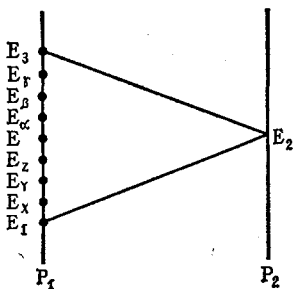


Рис. 10.

Ясно, что данные отношения, согласно которым E_2 находится в o -отношении «между» E_1 и E_3 , а $E, E_x, E_y, E_z, E_\alpha, E_\beta$ и E_γ находятся каждое в o -отношении «между» E_1 и E_3 , не дают, как установлено, никакой основы для отношений разделения во времени или топологической одновременности между событием E_2 и любым событием в точке P_1 , которые происходят в пределах открытого интервала между E_1 и E_3 . Существование последних отношений будет поэтому зависеть от того, возможно ли с физической точки зрения существование причинных цепей, которые непосредственно соединяли бы E_2 с тем или иным частным событием в открытом интервале в точке P_1 .

Однако, признавая, что ни световые лучи, ни другие электромагнитные причинные цепи не могут обеспечить связь между E_2 и E_z или E_2 и E_α , физика Ньютона, в попытке доказать физическую возможность других причинных цепей (например, движущиеся частицы), ссылается на второй закон механики, который действительно допускает наличие таких цепей¹. Но именно последняя возможность

¹ В контексте ньютоновского предположения о том, что перенесение часов может обеспечить согласование времени и явиться индикатором абсолютной одновременности, соответствующее содержание второго закона движения может быть сформулировано так: независимо от того, какова скорость, отношение силы к ускорению остается постоянным и частицы могут, следовательно, приобретать произвольно большие скорости, гораздо большие, чем скорость света c , благодаря действию на них произвольно больших сил в течение достаточного времени.

и отрицалась Эйнштейном в специальной теории относительности, поскольку он выдвинул следующий топологический постулат, который мы в дальнейших ссылках будем называть «предположение (ii)»¹. Физически невозможно, чтобы в вакууме² имелись причинные цепи генетического тождества (или другие причинные цепи), которые могли бы связать E_2 с любыми двумя событиями, из которых одно или оба находятся в пределах открытого временного интервала $\overline{E_1 E_3}$ таким образом, чтобы E_2 находилось по времени в o -отношении «между» этими двумя рассматриваемыми событиями.

Сформулированное в соответствии с (ii) топологическое утверждение Эйнштейна о предельном характере скорости распространения света в вакууме в пределах класса причинных цепей приводит к следующему фундаментальному выводу: в пределах открытого интервала между E_1 и E_3 в точке P_1 каждое из целого несчетного множества событий, а не только одно из них топологически одновременно с E_2 , следовательно, полученная топологическая одновременность не является уникальной. Ибо, согласно предположению Эйнштейна (ii), ни про одно из этих событий в P_1 нельзя сказать, что оно испытывает отношение разделения во времени с E_2 (то есть произошло либо раньше, либо позже E_2), и это физический факт. Однако, если говорить о том, что ни одно из этих событий в P_1 с физической точки зрения не произошло ни раньше, ни позже E_2 , то это значит, что ни одно из них нельзя рассматривать как объективно метрически одновременное с E_2 в отличие от всех других событий. Поэтому только на основании конвенции, или определения, какое-то одно из этих событий становится метрически одновременным с E_2 , остальные же события, происходящие в открытом интервале $\overline{E_1 E_3}$ в точке P_1 , становятся после этого, по определению, событиями, происшедшими либо раньше, либо позже, чем E_2 .

В отличие от ньютоновской ситуации, где было только одно-единственное событие E , которое могло, по существу,

¹ А. Эйнштейн, Автобиографические заметки, «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 279.

² Оценку оснований для установления смысла теории в вакууме можно найти у И. Е. Тамма: «Общие свойства излучения, испускаемого системами, движущимися со сверхсветовыми скоростями, и некоторые приложения к физике плазмы», УФН, т. 68, вып. 3, 1959, стр. 387—396.

рассматриваться как одновременное с E_2 , физические факты, постулируемые теорией относительности, требуют введения в рамках единой инерциальной системы S соглашения, которое оговаривает, какая частная пара событий в точках P_1 и P_2 , топологически одновременных между собой, будет выбрана в качестве метрически одновременной. Мы видим точно так же, что топологическая одновременность или наличие пространственноподобного разделения не является транзитивным отношением. В то время как E_x топологически одновременно с E_2 , а E_2 в свою очередь топологически одновременно с E_1 , события E_x и E не одновременны топологически, а разделены во времени. На это могут возразить, что термин «одновременный» при обсуждении в рамках здравого смысла «обычно применяется» таким образом, что подразумевает транзитивность отношения одновременности.

На подобное возражение можно ответить, что для Эйнштейна техническое использование такого теоретического термина, как «топологическая одновременность», для названия отношения, транзитивного в силу обычного употребления слова «одновременный», не более обязательно, чем применение в физике таких терминов, как «температура» и «работа» в их обычном смысле, а не как омонимов их двойников из «обычного языка». Ибо обычное употребление временных (и пространственных) терминов отражает концептуальные обязательства «обычного потребителя». И эти обязательства часто обусловлены научным и философским невежеством. В частности, современные выступления в защиту накладывания на термин «одновременность» ограничений, связанных с обыденным языком, при использовании этого термина в топологическом (то есть неметрическом) смысле выражают стремление сохранить верования ньютонианцев и могут поэтому явиться препятствием для правильного изложения и понимания теории относительности. Поэтому не следует удивляться тому, что в рамках философии науки анализ обыденного языка, коль скоро он находил себе приверженцев, почти всегда оказывался пагубным обскурантизмом. И поскольку анализ обыденного языка провозглашался единственной задачей философии, это приводило некоторых ученых к прискорбному выводу, что от философов-профессионалов не приходится ждать внесения ясности в понятийный аппарат науки. Для массы самих сторонников анализа обыденного языка, которые

возводили «простого человека» на престол интеллектуального арбитра мира, это состояние дел обеспечило удобную уверенность, что невежество в научном отношении не является помехой для философа.

В свете приведенных выше соображений концептуальное новаторство Эйнштейна применительно к проблеме одновременности может быть суммировано примерно так: временные отношения между событиями следует рассматривать как вытекающие прежде всего из физических отношений, существующих между ними; эти физические отношения оказываются таковыми, что топологическая одновременность не является уникальной и поэтому не может быть использована в качестве метрического правила при синхронизации часов в пространственно разделенных точках P_1 и P_2 . Таким образом, метрическую одновременность нельзя определить ни с помощью топологической одновременности, ни с помощью транспортировки часов по причине их релятивистского поведения. Поэтому для утверждения, что событие в точке P_2 характеризуется уникальным отношением равенства или метрической одновременности с событием в точке P_1 , необходимы не только соответствующие физические факты, но и дополнительное *соглашение*. Коротко говоря, новаторство Эйнштейна с физической точки зрения состоит в утверждении, что наличие физической связи, которую устанавливает само существование временного порядка, допускает некоторые разрывы, что и является причиной отсутствия абсолютной одновременности. Установление временного порядка *в пределах* этих разрывов является поэтому конвенциональным, ибо основывается на конвенциональном выборе из класса пар событий, которые топологически одновременны в P_1 и в P_2 , *уникальной* пары событий в P_1 и P_2 , которые рассматриваются как метрически одновременные. Очевидно, что неудача измерительных операций, проводимых людьми при попытках установить абсолютную одновременность, представляет собой эпистемологическое следствие отсутствия этих отношений в природе, которое является первичным.

Прежде чем приступить к формулировке математического выражения конвенционального характера метрической одновременности, хотелось бы подчеркнуть, что наша формулировка конвенционального характера метрической одновременности не нуждается в каких-либо ссылках на относительное движение галилеевых систем и, следо-

вательно, не дает каких-либо обязательств относительно существования между такими системами *несовпадений* или *относительности* одновременности. Ниже мы покажем более подробно, что отказ от ньютоновской одновременности на основе тезиса о конвенциональном характере одновременности не зависит вообще в смысле истинности от того, существует ли несогласие между галилеевыми наблюдателями относительно одновременности пар несовпадающих событий. Напротив, станет ясным, что конвенциональный характер одновременности приводит к логической схеме, в рамках которой впервые может быть понята *относительность* одновременности: если *каждый* галилеев наблюдатель принимает частное правило метрической синхронизации, предложенное Эйнштейном в первом разделе его фундаментальной статьи¹, и если пространственное разделение P_1 и P_2 имеет компоненту, протяженную вдоль линии относительно движения галилеевых систем, тогда это относительное движение приводит к тому, что эти наблюдатели выбирают из класса топологически одновременных событий в качестве метрически одновременных разные пары событий. Этот результат изображен на обычной диаграмме Минковского.

Теперь пусть событиям в P_1 с помощью установленных там часов приписываются следующие числовые показатели времени: t_1 есть время E_1 , t_3 — время E_3 и $1/2(t_3 + t_1)$ — время события E . Конвенциональный характер метрической одновременности выражается тогда в том, что даже в пределах данной инерциальной системы S полученная метрическая одновременность зависит от выбора (не диктуемого никакими фактами) некоторого числа между t_1 и t_3 в качестве временного обозначения, которое нужно приписать событию E_2 в точке P_2 той же системы S с помощью соответствующего расположения там подобных часов. Используя * индексы, применявшиеся Рейхенбахом², мы можем сказать поэтому, что в зависимости от частного события в P_1 , которое выбрано как одновременное с E_2 , мы поставим часы в P_2 при осуществлении E_2 так, чтобы они показывали

$$t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1), \quad (1)$$

¹ А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 9.

² См.: Н. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, p. 127.

где ε имеет определенное значение между 0 и 1, которое мы приписываем ему путем свободного выбора. Если, например, мы выберем такое ε , что E_y на нашей новой, оснащенной стрелками диаграмме мировых линий станет одновременным с E_2 , то все события между E_y и E_3 станут, по определению (то есть не объективно), позже, чем E_2 . Ясно, что мы можем, напротив, выбрать ε так, чтобы E_y вместо того, чтобы быть одновременным с E_2 , будет рассматриваться как более раннее или более позднее, чем E_2 в той же самой системе S . Эта свобода устанавливать, по определению, отношения временной последовательности выражает только объективную неопределенность уникальных временных отношений между *причинно несвязуемыми* событиями, и, конечно, такая свобода может быть допущена только в отношении таких пар событий¹. Ибо, как мы уже видели в случае причинно связанных событий, отношение временного разделения имеет объективное физическое основание.

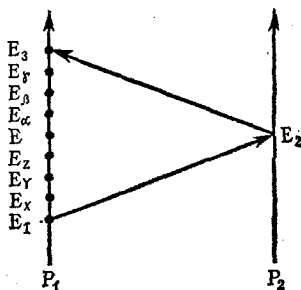


Рис. 11.

И раз критерий метрической одновременности выбирается только в общих чертах, вытекающая отсюда временная координата оставляет неопределенным, какое из двух объективно разделенных во времени событий произошло раньше, а какое позже.

Представляется очевидным, что никакие естественно научные факты, определяющие объективные временные отношения, не запрещают выбор такого значения ε между

¹ В своей посмертно опубликованной работе «Уточненный вариант специальной теории относительности» («A Sophisticate's Primer of the Special Theory of Relativity», Middletown, Connecticut: Wesleyan University Press, 1962, Chap. II) Бриджмен утверждает, что нет никакой необходимости основывать концепцию временного порядка в специальной теории относительности на причинной связуемости и несвязуемости, поскольку временной порядок можно вывести в специальной теории относительности из философских оснований. Однако в своем послесловии к этой книге мне удалось показать (ibid., pp. 181—190) ошибочность этого утверждения Бриджмена.

0 и 1, которое отличалось бы от $1/2$. Однако только при значении $\varepsilon = 1/2$ скорость в направлении $P_1 P_2$ становится равной скорости света в противоположном направлении $P_2 P_1$ в силу вытекающего отсюда равенства соответствующих времен прохождения $t_2 - t_1$ и $t_3 - t_2$. Выбор $\varepsilon = 3/4$, например, сделал бы скорость света в направлении $P_1 P_2$ равной только одной трети скорости его в противоположном направлении. С более общей точки зрения, поскольку все время прохождения пути туда-обратно $t_3 - t_1$ разделяется на время прохождения туда $t_2 - t_1$ и время возвращения обратно $t_3 - t_2$, отношения этих двух времен выражаются следующей формулой:

$$\frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_2} = \frac{\varepsilon (t_3 - t_1)}{(1 - \varepsilon) (t_3 - t_1)} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}.$$

А соответствующие отношения скоростей туда и обратно выражаются формулой $(1 - \varepsilon)/\varepsilon$. Нельзя ли в таком случае утверждать, что выбор значения ε вовсе не является делом соглашения, поскольку-де только значение $\varepsilon = 1/2$ согласуется с такими физическими фактами, как изотропность пространства, а также с методологическим требованием индуктивной простоты, которое предписывает нам давать оценку наблюдаемым фактам с помощью минимального количества постулятивных обязательств? И не можем ли мы, во всяком случае, предположить (по крайней мере среди друзей!), что значение $1/2$ является более «истинным»? Утверждение, что здесь уместны либо изотропность пространства, либо «бритва Оккама», представляет собой глубокое заблуждение, и подобная точка зрения обусловлена неспособностью понять значение мысли Эйнштейна о том, что «последнее можно установить, вводя определение, что «время», необходимое для прохождения света из A в B , равно «времени», требуемому для прохождения света из B в A »¹. Ибо, во-первых, никакие утверждения относительно времени прохождения светом пути в одном направлении или о скорости в одном направлении нельзя делать, опираясь только на факты, для этого требуется также предварительное условие установления критерия синхронизации часов¹. Выбор значения $\varepsilon \neq 1/2$, кото-

¹ А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. 1, стр. 9.

рый делает *неравными* времена прохождения (скорости) света в противоположных направлениях, не может противоречить таким физическим изотропиям и симметриям, которые существуют *независимо* от наших дескриптивных соглашений².

И во-вторых, канон простоты, преклонение перед которым мы наблюдаем во всех индуктивных науках, выполняется при выборе $\varepsilon = 1/2$ ничуть не больше, чем при выборе любого другого из допустимых дробных значений; ибо при выборе $\varepsilon = 1/2$ по сравнению с выбором любого другого из допустимых значений не делается никаких особых предположений относительно физических фактов. Поэтому вопрос об обсуждении гипотезы, которая имела бы меньше предварительных соображений, чем в данном специальном случае, даже не может быть поставлен. Напротив, выдвигается постулат, что свет является наиболее быстрым сигналом, и это требует, чтобы *каждое отдельное* из допустимых значений ε было совместимо с любыми возможными фактическими данными, которые не зависят от того, как мы решили поставить часы в P_2 . Таким образом, значение $\varepsilon = 1/2$ в индуктивном смысле не проще, чем другие значения, и не предполагает меньшего количества посылок для объяснения данных наших наблюдений, однако оно проще только в описательном смысле, поскольку обеспечивает *символически* более простое выражение теории, объясняющей эти данные. Однако большая символическая простота, получаемая при значении $\varepsilon = 1/2$, выражается не только в равенстве скоро-

¹ В случае измерений скорости света в одном направлении, таких, например, как измерение Рёмера, правило синхронизации вводится достаточно завуалированно и наличие его не очевидно. См. оценку Рейхенбахом определения скорости света Рёмера в его статье «Планетные часы и эйнштейнова одновременность» [«Planetenuhr und Einsteinsche Gleichzeitigkeit», «Zeitschrift für Physik», Bd. XXXIII (1925), S. 628—631].

² Примером такого типа независимой изотропии является факт, обнаруженный Физо, что, если в инерциальной системе световой импульс проходит по *замкнутому* многоугольнику в данном направлении и его излучение совпадает с излучением светового импульса, движущегося в противоположном направлении, тогда возвращение этих импульсов в их общую точку излучения также будет совпадать. Мы знаем из экспериментов Саньяка, Майкельсона и Гэля [см.: A. Michelson, and H. G. Gale, «Astrophysical Journal», Vol. LXI (1925), p. 140; M. G. Trocheris, «Philosophical Magazine», Vol. XL, (1949), p. 1143], что во *вращающейся* системе этой симметрии между направлениями не существует.

стей света в противоположных направлениях, которое обусловлено тем, что отношение между скоростями уходящего и приходящего сигналов равно во всех случаях $(1-\varepsilon)/\varepsilon$; значение $\varepsilon = 1/2$ также демонстрирует свои индуктивные преимущества, гарантируя как *симметрию*, так и *транзитивность* отношения синхронности при использовании в одной и той же системе *различных* часов: синхронизация, основанная на $\varepsilon = 1/2$, симметрична как для двух часов *A* и *B* (потому что установка часов в точке *B* из точки *A* в соответствии с $\varepsilon = 1/2$ автоматически приводит к тому, что эти часы будут давать такие же показания, как и в случае установки часов в точке *A* из точки *B* в соответствии с $\varepsilon = 1/2$), так *mutatis mutandis* транзитивна и для трех часов *A*, *B*, и *C*. При значениях $\varepsilon \neq 1/2$ синхронизация вообще *не будет* ни симметричной, ни транзитивной.

Мы уже опровергли возражение с точки зрения обыденного языка против употребления термина «топологически одновременный» при обозначении отношения, которое не является транзитивным. Очевидно, что точно такое же опровержение имеет силу и для тех лингвистических возражений, которые говорят о недопустимости с философской точки зрения правил, приводящих к такой синхронизации, где симметрия и транзитивность отсутствуют.

Теперь, прежде чем рассматривать мысленный эксперимент Эйнштейна с ударом молнии, мы опровергнем последнее возражение, говорящее о философской недопустимости значений $\varepsilon \neq 1/2$. Если мы воспользуемся той свободой установления правил синхронизации, которая вытекает из положения о допустимости с философской точки зрения значений $\varepsilon \neq 1/2$, тогда физические факты, постулируемые специальной теорией относительности, не приводят к обязательному несовпадению высказываний относительно одновременности событий между различными галилеевыми системами.

Чтобы сформулировать возражение, несостоятельность которого мы намереваемся доказать, нужно прежде всего обратить внимание на следующие данные: в оптике эмпирически доказано (на это ссылается специальная теория относительности), что если в инерциальной системе свет проходит путь туда-обратно по незамкнутой траектории, длина которой в один конец равна l , причем время его прохождения равно $2T$, тогда время прохождения светом пути туда-обратно по *замкнутой* траектории длиной nl равно $n/2$ раз по $2T$ независимо от направления вдоль этого замкну-

того пути. Так, например, в равностороннем треугольнике ABC , длина каждой из сторон которого равна l , величина приращения времени на часах в точке A будет равняться $3T$ как для возвращения светового луча, который движется из точки A против часовой стрелки, так и для луча, который движется по часовой стрелке по замкнутой траектории $ABCA$ (или $ACBA$).

Предположим, что световой луч отправляется из A , когда часы там показывают $t = 0$. Тогда эти часы будут показывать $t = 3T$ после возвращения света в точку A совершенно независимо от последовательности, в которой мы синхронизируем часы в точках B и C . Теперь предположим, что мы для синхронизации часов в точке B с часами в точке A , а также для синхронизации часов C с часами B используем правило $\varepsilon = 1/2$. В таком случае световой луч, покидающий точку A в момент $t = 0$ и движущийся в направлении против часовой стрелки $ABCA$, будет достигать часов B , когда последние будут показывать время

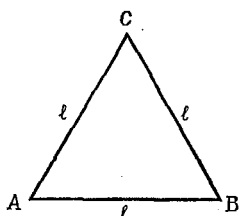


Рис. 12.

$$t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1) = 0 + 1/2(2T) = T.$$

Точно таким же образом доказывается, что этот луч достигнет точки C в тот момент, когда часы там будут показывать $2T$. Мы уже отмечали, что в точке A часы после возвращения луча, двигавшегося против часовой стрелки, будут показывать $3T$. Соответственно мы можем убедиться и в том, что если мы хотим вновь воспользоваться правилом $\varepsilon = 1/2$ уже для синхронизации часов A с часами C , то часы A уже будут автоматически синхронизированы; световому лучу, покидающему часы C , когда они показывают $2T$, требуется, чтобы пройти путь в один конец до точки A , половина от $2T$, или T , если для синхронизации часов A с часами C пользоваться правилом $\varepsilon = 1/2$.

Однако предположим теперь, что для синхронизации часов B с часами A и часов C с часами B мы используем не правило $\varepsilon = 1/2$, а правило $\varepsilon = 2/3$. В таком случае время прибытия светового луча, двигавшегося против часовой стрелки, будет равно

$$t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1) = 0 + 2/3(2T) = 4/3T.$$

И точно так же доказывается, что время прибытия луча в C будет равно $\frac{8}{3} T$. Однако, поскольку предварительная установка часов A приводит к тому, что их показания после возвращения светового луча в A равны $3T$, или $\frac{9}{3} T$, становится ясным, что время прохождения отрезка CA было только $\frac{1}{3} T$. В таком случае значение ε , которое использовалось для синхронизации часов в A с часами C , выражается формулой

$$\frac{1}{3}T = \varepsilon (2T)$$

или правилом

$$\varepsilon = \frac{1}{6}.$$

Ясно, что в таком случае скорость света в одном из направлений, а именно в направлении от C к A , в четыре раза больше, чем его скорость вдоль AB или BC .

Учитывая эти результаты, иногда утверждают, что «компенсационное» возрастание скорости вдоль CA с индуктивной точки зрения просто невероятно, доказывая тем самым, что если рассматривать *факты* как критерий истинности и ложности, то в таком случае значение $\varepsilon = \frac{2}{3}$ является недопустимым для установки часов в B и C и только значение $\varepsilon = \frac{1}{2}$ подтверждается фактами. Однако этот аргумент совершенно не обоснован, поскольку концепция индуктивной невероятности компенсации или корректировки скорости света в один конец вдоль CA вовсе не имеет отношения к данной ситуации. Ибо данная аргументация основывается на *ошибочных* положениях, а именно что существует истинная фактуальная одновременность событий в C и A , фактуально истинная синхронизация часов в этих точках и соответствующее поведение скорости света вдоль CA . Однако скорость света в одном направлении зависит от критерия одновременности, который является конвенциональным. И следовательно, было бы явной *petitio principii* предлагать *reductio ad absurdum* конвенционального характера одновременности на том основании, что частная скорость в одном направлении вдоль CA невероятна с индуктивной точки зрения. «Компенсация» скорости света в одном направлении вдоль финального отрезка замкнутой траектории движения светового луча может поэтому с индуктивной точки зрения быть не более невероятной, чем, скажем, стократное увеличение чисел, выражающих протяженности всех тел, когда мы меняем единицы длины, переходя от метров к сантиметрам. Утверж-

Дение, что скорости света в одном направлении вдоль AB , BC и CA выражаются значениями $\varepsilon = 2/3$, $\varepsilon = 2/3$ и $\varepsilon = 1/6$ соответственно, а не $\varepsilon = 1/2$, не может быть более ошибочным или менее вероятным с индуктивной точки зрения, чем утверждение о том, что длины всех тел выражаются сантиметрами, а не метрами. Если соглашение о том, чтобы перейти от измерения длин в метрах к измерению их в сантиметрах, гарантирует стократное возрастание всех чисел, выражающих длины независимо от какой-либо вероятности (или невероятности) с индуктивной точки зрения, то и зависимость скорости света в одном направлении вдоль CA от установки показаний времени на часах A с помощью выбора ε точно так же *автоматически гарантирует* именно ту скорость в одном направлении, которая соответствует этой установке!

Поскольку синхронизация часов, использующая значение $\varepsilon \neq 1/2$, столь же приемлема с философской точки зрения, как и та, которая использует $\varepsilon = 1/2$, мы покажем сейчас, что физические факты, постулируемые специальной теорией относительности, не приводят к обязательному *несовпадению* утверждений относительно одновременности между данными событиями в различных галилеевых системах. Чтобы доказать это, рассмотрим обычный эксперимент Эйнштейна с ударами молний, где две молнии вертикально ударяют в движущийся поезд в точках A' и B' , а в землю — в точках A и B соответственно, где A и A' находятся слева от B и B' соответственно. Пусть расстояние AB в системе «земля» будет равно $2d$. Если мы теперь определим одновременность в системе «земля», выбрав $\varepsilon = 1/2$, тогда скорость света, идущего от A к средней точке C отрезка AB , будет равна скорости света, идущего в противоположном направлении BC ¹. И если прибытие этих двух противоположно направленных световых импульсов в C совпадает, тогда наблюдатель, который стоит на земле, скажет, что молния ударила в AA' одновременно с ударом в BB' , скажем в $t=0$. Будет ли *вынужден* наблюдатель, находящийся в поезде,

¹ Выбор $\varepsilon = 1/2$ не является единственным выбором, который приводит к равенству скоростей в противоположных направлениях AC и BC . Подобный результат может быть достигнут при использовании для синхронизации часов в A и B с часами в C любых других *равных* значений ε ($0 < \varepsilon < 1$), хотя в таком случае скорость вдоль CA не будет равна скорости вдоль AC , что также справедливо и для скоростей вдоль CB и BC .

сказать на основе своих наблюдений над вспышками молний, что они ударили одновременно? Конечно, нет! Поскольку поезд движется, скажем, влево относительно земли, то невозможно, чтобы два горизонтальных импульса, которые встречаются в средней точке C в системе «земля», встретились бы также в средней точке C' в системе «поезд». Ибо C' была смежной с точкой C , когда часы в системе «поезд» в точке C' показывали $t = 0$, C и C' являются соответственно началами пространственных координат¹. Следовательно, вспышка из A' придет в C' раньше, чем вспышка из B' . Но этот факт будет жестко требовать от наблюдателя, находящегося в поезде, сказать, что молния ударила в точку A' раньше, чем в точку B' , если он также не выбрал одинаковые значения ϵ , такие, как $1/2$, для синхронизации часов в A' и B' с часами в C' в его системе отсчета. Этот выбор требует от него утверждения, что время, которое необходимо свету, чтобы слева пройти расстояние $A'C'$, то же самое, что и пересечь справа расстояние $B'C'^2$. Однако что, кроме дескриптивного соглашения, запрещает наблюдателю в поезде выбрать соответствующие *неравные* значения ϵ ($0 < \epsilon < 1$), с тем чтобы он так же, как это делает наблюдатель, находящийся на земле, мог сказать, что обе молнии ударили одновременно?

Ответ на этот вопрос может быть только один — ничто. Для подробного обоснования этой точки зрения мы докажем следующее: (i) разница во времени $\Delta t'_{C'}$ на местных часах в C' между прибытием световых импульсов из A' и B' равна

$$\Delta t'_{C'} = \frac{2d \cdot \beta}{c \sqrt{1 - \beta^2}};$$

(ii) если в системе «поезд» для синхронизации часов в A' и B' с часами в C' мы выберем значения $\epsilon_{A'}$ и $\epsilon_{B'}$ соот-

¹ Рассуждения об основаниях для постулирования смежности C и C' можно найти у Бергмана в его «Введении в теорию относительности» («Introduction to the Theory of Relativity», New York: Prentice Hall, 1946, p. 31, p. 1 and p. 33).

² Если наблюдатель в поезде движется относительно земли вправо и выбирает то же самое значение для синхронизации часов в A' и B' с часами в C' , то он, конечно, будет говорить, что в точку A' молния ударила позже, чем в B' .

ответственно ($0 < \varepsilon < 1$) так, чтобы они удовлетворяли уравнению

$$\varepsilon_{A'} - \varepsilon_{B'} = \beta \quad \left(\text{где } \beta \equiv \frac{v}{c} \right),$$

тогда вспышки молний в A' и B' будут одновременны и в системе «поезд», будучи одновременными также и в системе «земля».

(i) Разница по времени $\Delta t'_{C'}$ на одних часах в C' является объективным фактом и не зависит от какого-либо выбора коэффициента ε , который мы можем сделать для синхронизации часов A' и B' с часами в C' . Далее, преобразования Лоренца в специальной теории относительности основываются на выборе $\varepsilon = 1/2$ для всех процедур синхронизации в любой данной системе отсчета. Однако, учитывая независимость $\Delta t'_{C'}$ от ε , мы можем, используя уравнения Лоренца, высчитать значение $\Delta t'_{C'}$ без какого-либо ущерба для нашего последующего выбора коэффициента ε для синхронизации часов в частной системе отсчета «поезд» с часами в C' , отличного от $1/2$, которое мы осуществим в части (ii) нашего доказательства.

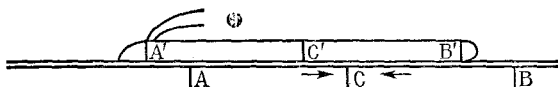


Рис. 13.

Согласно приведенной диаграмме, мы приходим к следующему результату. Когда импульс от A' достигает C' слева, часы в системе отсчета «земля», расположенные в точке P , смежной с C' , показывают время t , которое задается уравнением пути

$$ct + vt = d$$

или

$$t = \frac{d}{c+v}.$$

Однако в силу релятивистского замедления часов, заданного преобразованиями Лоренца, часы, расположенные в поезде в точке C' , отстают по сравнению с часами в точке P пропорционально множителю $\sqrt{1 - \beta^2}$. Следо-

вательно, после того как вспышка, идущая из точки A' , достигнет точки C' , часы в C' будут показывать время

$$t'_{C'} = \frac{d}{c+v} \sqrt{1-\beta^2}.$$

Чтобы найти время, которое показывают часы, расположенные в поезде в точке C' , когда этой точки достигнет вспышка, идущая из B' , мы сначала вычислим время этого события по часам, расположенным на земле в точке Q , смеж-

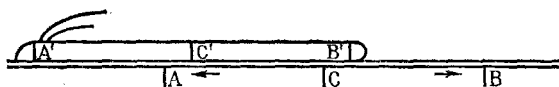


Рис. 14.

ной с C' . Это время t одновременно задается следующими уравнениями, выражающими тот факт, что световой луч, выходящий из точки B в $t = 0$ со скоростью c относительно земли, достигнет точки C' , которая в момент $t = 0$ совпала с точкой C и в момент времени t будет находиться на расстоянии x от точки B

$$x = ct.$$

и

$$x = d + vt,$$

так что

$$ct = d + vt,$$

или

$$t = \frac{d}{c-v}.$$

Однако часы C' вновь отстанут относительно показаний часов, расположенных на земле в точке Q . Следовательно, после прибытия вспышки из B' в C' часы в C' будут показывать

$$t'_{C'} = \frac{d}{c-v} \sqrt{1-\beta^2}.$$

Соответственно этому по часам, расположенным в точке C' , разница между более ранним прибытием вспышки из A' и более поздним прибытием вспышки из B' в точку C' будет равна

$$\Delta t'_{C'} = \frac{d}{c-v} \sqrt{1-\beta^2} - \frac{d}{c+v} \sqrt{1-\beta^2} = \frac{2d \cdot \beta}{c \sqrt{1-\beta^2}},$$

где $\beta \equiv v/c$ и меньше 1.

(ii) Теперь мы должны поставить вопрос, каковы соответствующие значения $\epsilon_{A'}$ и $\epsilon_{B'}$, которыми должны пользоваться при синхронизации из точки C' часов в A' и B' с тем, чтобы в системе «поезд» обе молнии ударили *одновременно* в A' и B' ? Ясно, что требуются такие значения ϵ , которые приведут к нужной разности $\Delta t'_{C'}$ по прибытии в C' соответственно вспышек из A' и B' , однако при этом получается, что время прохождения этими вспышками пути из A' в C' *не равно* соответствующему времени прохождения из B' в C' .

Чтобы вычислить искомые значения $\epsilon_{A'}$ и $\epsilon_{B'}$, мы должны сначала напомнить, что если T есть время прохождения светом пути туда-обратно по одной и той же замкнутой траектории $C'A'C'$ или $C'B'C'$, то в таком случае время прохождения светом пути в одном направлении вдоль $B'C'$ и $A'C'$ выражается соответственно величинами

$$(1 - \epsilon_{B'})T$$

и

$$(1 - \epsilon_{A'})T.$$

Теперь пусть τ будет обозначать момент времени, отмечаемый часами как в A' , так и в B' , когда две молнии *одновременно* ударили в систему «поезд». В таком случае время прохождения вспышки вдоль пути $B'C'$ в одном направлении будет выражаться разницей между временем отправления τ и временем прибытия в C' , которое равно $d/(c - v) \sqrt{1 - \beta^2}$, тогда как соответствующее время прохождения вспышкой пути $A'C'$ в одном направлении определяется разностью между τ и временем прибытия вспышки в C' , а именно $d/(c + v) \sqrt{1 - \beta^2}$. Таким образом, мы имеем

$$\frac{d}{c - v} \sqrt{1 - \beta^2} - \tau = (1 - \epsilon_{B'})T$$

для прохождения луча вдоль $B'C'$ и

$$\frac{d}{c + v} \sqrt{1 - \beta^2} - \tau = (1 - \epsilon_{A'})T$$

для прохождения луча вдоль $A'C'$. Вычитание второго уравнения из первого элиминирует величину τ с левой стороны, оставляя на этой стороне только разность $\Delta t'_{C'}$,

так что мы имеем

$$\frac{2d \cdot \beta}{c \sqrt{1 - \beta^2}} = (\varepsilon_{A'} - \varepsilon_{B'}) T.$$

Однако, поскольку пути, проходимые светом туда-обратно вдоль расстояний $C'A'C'$ и $C'B'C'$, равны $2d/\sqrt{1 - \beta^2}$, как это известно из преобразований Лоренца, то соответствующее время прохождения светом пути туда-обратно T должно быть равно $T = 2d/(c\sqrt{1 - \beta^2})$. Подставив этот результат в наше предыдущее уравнение, получим $\beta = \varepsilon_{A'} - \varepsilon_{B'}$, что и требовалось доказать. И применение любых положительных дробных значений ε , совместимых с последним уравнением, равно как и применение установленного значения T , позволит нам решить, какое из наших прежних уравнений, содержащих время τ *одновременного* удара молний, дает величину ε , соответствующую нашему частному выбору. Таким образом, если $\beta < 1/2$, а мы выбрали $\varepsilon_{B'} = 1/2$, тогда $\varepsilon_{A'}$ будет иметь дробное значение $1/2 + \beta$ и мы получим для времени *одновременного* возникновения вспышек от ударов молний в точках A' и B' в системе «поезд» значение

$$\tau = \frac{d \cdot v}{c^2 \sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Мы видим, что после указанного *неодинакового* выбора $\varepsilon_{A'}$ и $\varepsilon_{B'}$ наблюдатель, находящийся в поезде в точке C' , может считать, что молнии должны были ударить одновременно, поскольку он объяснил бы разницу во времени $(2d \cdot \beta)/(c\sqrt{1 - \beta^2})$ между прибытием световых импульсов из этих точек в C' как следствие *соответствующей разницы* между *скоростями* импульсов в *одном направлении* вдоль $A'C'$ и $B'C'$ соответственно.

Следует отметить, что это суждение об одновременности в системе «поезд» вовсе не ограничивает нахождение наблюдателя средней точкой C' отрезка $A'B'$. Чтобы убедиться в этом, мы обращаем внимание читателя, во-первых, на то, что поскольку, по предположению, световые вспышки, возникающие при ударах молний в A' и B' , встретятся в средней точке C в системе отсчета «земля», они также встретятся и в точке D' в системе «поезд», то есть в точке, смежной с C и лежащей между C' и B' , как показано на диаграмме.

Теперь определим расстояние точки встречи D' от B' и A' на основе соответствующего преобразования Лоренца

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

В этом случае x , то есть координата точки D' , имеет начало в C , и время t в системе «земля» момента встречи двух

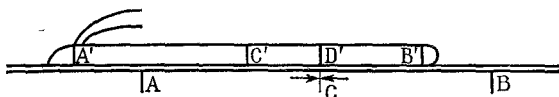


Рис. 15.

вспышек в C и D' равно $t = d/c$. Таким образом, подставляя значение t и значение $x = 0$ в уравнение Лоренца, мы для расстояния $\overline{C'D'}$ получим

$$\overline{C'D'} = x' = \frac{vd}{c\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Согласно преобразованиям Лоренца, расстояние $C'B'$ в системе «поезд»

$$\overline{C'B'} = \frac{d}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Соответственно вычитая $\overline{C'D'}$ из $\overline{C'B'}$ и учитывая, что $\beta \equiv v/c$, мы получим

$$\overline{B'D'} = \frac{d}{\sqrt{1 - \beta^2}} - \frac{v}{c} \frac{d}{\sqrt{1 - \beta^2}} = d \sqrt{\frac{c - v}{c + v}}.$$

Теперь расстояние $\overline{A'B'}$ есть просто двойное расстояние $\overline{C'B'}$, и после вычитания из $\overline{A'B'}$ расстояния $\overline{B'D'}$ мы найдем, что

$$\overline{A'D'} = \frac{2d}{\sqrt{1 - \beta^2}} - d \sqrt{\frac{c - v}{c + v}} = d \sqrt{\frac{c + v}{c - v}}.$$

Таким образом, отношение расстояний $\overline{A'D'}$ к $\overline{B'D'}$ равно

$$(c + v)/(c - v).$$

Чтобы убедиться в одновременности вспышек в A' и B' с точки зрения наблюдателя, находящегося в поезде в точке D' , которая не является средней, необходимо поставить условием, что отношение скорости света в одном направле-

нии вдоль $A'D'$ к скорости света в одном направлении вдоль $B'D'$ такое же, как и отношение $(c+v)/(c-v)$, то есть как отношение расстояний $\overline{A'D'}$ и $\overline{B'D'}$, и тем самым гарантируется, что вспышкам требуется одинаковое время для прохождения этих неравных путей. Требуемые же скорости в одном направлении вдоль $A'D'$ и $B'D'$ могут быть получены только путем соответствующего выбора $\varepsilon_{A'}$ и $\varepsilon_{B'}$ для синхронизации часов в A' и B' с часами в D' . Это может быть осуществлено бесконечным числом различных способов, каждому из которых соответствует для такой установки часов в D' частное время *одновременного* удара двух молний, по утверждению наблюдателя в точке D' . Таким образом, если мы вновь выберем $\varepsilon_{B'} = 1/2$ (как мы делали, когда синхронизировали часы B' с часами C'), то в таком случае скорость света в одном направлении вдоль $B'D'$ равна c и, следовательно, время прохождения света в одном направлении вдоль $B'D'$

$$\Delta t'_{B'D'} = \frac{d}{c} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}.$$

Поскольку время прохождения светом пути туда-обратно по замкнутой траектории $D'A'D'$ равно $2d/cV(c+v)/(c-v)$, время $\Delta t'_{A'B'}$ прохождения светом пути в одном направлении вдоль $A'D'$ выражается уравнением

$$\Delta t'_{A'D'} = (1 - \varepsilon_{A'}) \frac{2d}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}.$$

Поскольку мы стремимся выбрать такое значение $\varepsilon_{A'}$, которое будет иметь результатом $\Delta t'_{A'D'} = \Delta t'_{B'D'}$, мы имеем

$$(1 - \varepsilon_{A'}) \frac{2d}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} = \frac{d}{c} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}.$$

Решая относительно $\varepsilon_{A'}$, находим

$$\varepsilon_{A'} = \frac{c+3v}{2(c+v)}.$$

Чтобы убедиться в том, что это значение $\varepsilon_{A'}$ удовлетворяет требованию находиться между 0 и 1, то есть релятивистскому положению $v < c$, мы просто перепишем $\varepsilon_{A'}$ в следующей форме:

$$\varepsilon_{A'} = \frac{c+2v+v}{c+2v+c}.$$

Если после совместного прибытия вспышек из A' и B' часы в D' , установленные в соответствии с преобразованиями Лоренца, показывают время $t' = d/(c\sqrt{1-\beta^2})$, тогда сформулированный наблюдателем в D' выбор значений $\varepsilon_{A'}$ и $\varepsilon_{B'}$ приведет к следующему результату: как наблюдатель, находящийся в поезде в точке C' , так и наблюдатель в точке D' будут синхронизировать часы в точках A' и B' со своими собственными так, что время каждого из ударов молний в A' и B' будет равно $t' = (d \cdot v)/(c^2\sqrt{1-\beta^2})$, приписывая тем самым им одновременность. Почти то же самое можно сказать и о возможности получения *согласования* утверждений об одновременности между наблюдателями в поезде и на земле.

Вспышка в AA' каузально абсолютно несвязуема с любым из тех событий в точке B в системе «земля», которые являются членами открытого временного интервала событий I , разделяемого пополам вспышкой в BB' и обладающего длительностью $4d/c$ единиц времени в системе «земля». Именно эта абсолютная каузальная несвязуемость позволяет наблюдателю, стоящему на земле, говорить о том, что вспышка BB' была одновременна со вспышкой AA' , как того и требует выбор $\varepsilon = 1/2$, а также позволяет наблюдателю, находящемуся в поезде, с таким же успехом выбрать, если он пожелает, свое значение $\varepsilon = 1/2$ и утверждать, что последующее *разногласие* в утверждениях относительно одновременности является следствием его собственного выбора $\varepsilon = 1/2$: во-первых, не вспышка в BB' одновременна со вспышкой AA' , как утверждает наблюдатель, стоящий на земле, приписывая $t = 0$ обоим событиям, а совсем другое событие E_e интервала I в точке B , которое произошло абсолютно раньше, чем вспышка BB' в момент $t = -2vd/c^2$, который показывали часы в точке B в системе «земля» при осуществлении события E_e , и, во-вторых, время вспышки AA' в системе «поезд» и события E_e

$$t' = -\frac{vd}{c^2\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Однако вспышка BB' произошла по времени в системе «поезд» позднее, а именно в момент

$$t' = +\frac{vd}{c^2\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Отсюда следует, что конвенциональный характер одновременности в рамках каждой инерциальной системы является следствием вышеупомянутой абсолютной причинной несвязуемости, позволяющей каждому галилеевому наблюдателю выбирать свои собственные значения ε так, чтобы они *либо* согласовывались с другими наблюдателями относительно одновременности, *либо* не согласовывались с ними. Если каждая отдельная галилеева система выбирает значение ε , равное $1/2$, которое, как мы видели, выбрал Эйнштейн при формулировании своей теории ради получающейся при этом описательной простоты, то затем относительное движение делает, конечно, несогласие в утверждениях их представителей по поводу одновременности неизбежным, за исключением того случая, когда рассматриваемые пары событий находятся в плоскостях, перпендикулярных направлениям их относительного движения¹. Однако не относительное движение систем, а предельный характер скорости света и поведение часов при транспортировке приводят в первую очередь к относительности одновременности. Ибо теория Ньютона утверждает абсолютную одновременность и в то же время разрешает относительное движение инерциальных систем.

Более того, предполагаемые физические факты, которые ведут к конвенциональному характеру и относительности одновременности (в отличие от обнаружения человеком этих фактов), очевидно, совершенно не зависят от присутствия человека в космосе и его измерительной деятельности. Следовательно, относительность одновременности порождается прежде всего не нашей неспособностью выполнить измерительные операции, которые привели бы к отношениям абсолютной одновременности в ньютоновском смысле, а, напротив, неудача наших сигнальных и измерительных операций в установлении отношений абсолютной одновременности является только эпистемологическим следствием отсутствия, которое является первичным, в природе таких отношений. Поэтому было бы ошибкой или в лучшем случае заблуждением предлагать эпистемологическое или гомоцентристское операциональное объяснение

¹ Поскольку $t' = (t - (v/c^2)x) / \sqrt{1 - \beta^2}$ пространственно разделенные события, происходящие в одно и то же время t в системе S , произойдут в другое время t' в системе S' в плоскости, которая задается через $x = \text{const}$. См.: H. R e i c h e n b a c h, Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre, S. 55—56.

Эйнштейновской концепции одновременности, придавая особое значение роли сигналов как средству человеческого познания. Такое гомоцентристское операциональное искажение дает неверное представление о том, что Эйнштейн истолковывал свойство временной относительности физических событий прежде всего как онтологическое. Гомоцентристская операциональная оценка наводит на мысль о том, что отрицание Эйнштейном абсолютной одновременности Ньютона основывается только на *эпистемологическом* ограничении способности человека установить существование отношений абсолютной одновременности. Конечно, измерительные операции, проводимые человеком, необходимы для *открытия* или *познания* физических отношений, а тем самым и временных отношений физических событий. Однако вопрос о том, присущи или нет эти отношения физическим макрособытиям, совершенно не связан с *нашими* действительными или гипотетическими измерительными операциями прежде всего потому, что данные отношения *не привносятся* в природу этими операциями. Короче говоря, измерение не может установить отношения абсолютной одновременности именно потому, что таких отношений в природе *не существует*; не неудача их установления *определяет то*, что они не существуют, а просто эта неудача есть *доказательство* того, что они не существуют.

Только при отсутствии ясности в философской трактовке этого состояния дел можно считать правдоподобными взгляды, согласно которым относительность одновременности (или любые другие философские новинки теории относительности в этом направлении) подтверждают якобы субъективистскую точку зрения гомоцентристского операционализма или феноменалистического позитивизма¹.

В. История введения Эйнштейном принципа предельности скорости света в вакууме

Напомним высказанное нами предположение (ii) о том, что свет является самым быстрым сигналом в *вакууме*;

¹ Более подробно относительно того, почему я отрицаю, что специальная теория относительности поддерживает операциональную оценку научных понятий в гомоцентристском смысле Бриджмена, см. в: A. G r ü n b a u m, Operationalism and Relativity, «The Scientific Monthly», Vol. LXXIX (1954), p. 288.

это высказывание имеет следующий топологический смысл: ни один из видов каузальных цепей (движущиеся частицы, радиация), излученных *в вакуум* в данной точке A совместно со световым импульсом, не может достигнуть любой другой точки B раньше, чем этот световой импульс, причем это устанавливается локальными часами в точке B , которые только метрически произвольным образом упорядочивают события, происходящие там¹.

Мы видели, что предположение (ii) вместе с другим постулатом, согласно которому перенос часов не определяет отношения абсолютной одновременности, именуемым нами предположением (i), является фундаментальным в эйнштейновской концепции одновременности. Поэтому в данном разделе необходимо рассмотреть, на каких основаниях было сформулировано Эйнштейном в 1905 году данное предположение (ii). Попутно отметим, что наше рассмотрение фундаментальных исторических проблем, к которому мы сейчас перейдем, зависит прежде всего от ясного понимания философского смысла эйнштейновской концепции одновременности. Естественно, такое ясное понимание должно быть свободно от тех распространенных заблуждений, которые мы уже критиковали.

¹ Следует напомнить, что в своей метрической форме этот постулат не ограничивает величиной c чисто «геометрические» скорости, которые не являются скоростями причинных цепей. Например, в рамках любой данной инерциальной системы K специальная теория относительности позволяет производить векторное сложение (что противоречит эйнштейновой формуле сложения скоростей) скорости $v_1 = 0,9 \cdot c$ тела A в K и скорости $v_2 = -0,3 \cdot c$ тела B в K и получить в результате относительную скорость удаления A от B , равную $1,2 \cdot c$, причем это утверждается наблюдателем, находящимся в системе K (но отнюдь не наблюдателем, связанным либо с A , либо с B). Ибо ни про какое тело или возмущение среды нельзя сказать, что оно движется относительно любого другого тела, расходясь с ним со скоростью $1,2 \cdot c$. Поскольку процесс расхождения не имеет направления, он не может явиться причинной цепью. См.: M a x v o n L a u e, Die Relativitätstheorie, Braunschweig: F. Vieweg, 1952, Bd. I, S. 40—41; L. S i l b e r s t e i n, The Theory of Relativity, New York: The Macmillan Co., 1914, p. 164n; A. S o m m e r f e l d, Notes in «The Principle of Relativity», a collection of original memoirs, New York: Dover Publications, reprint, p. 94; A. G r ü n b a u m, «Philosophy of Science», Vol. XXII (1955), p. 53; H. P. R o b e r t s o n, «Mathematical Reviews», Vol. XVI (1955), p. 1166; G. D. B i r k h o f f, The Origin, Nature and Influence of Relativity, New York: The Macmillan Co., 1925, 1925, p. 104; J. W e b e r, «American Journal of Physics», Vol. XXII (1954), p. 618.

Как мы сейчас увидим, информация относительно оснований, опираясь на которые Эйнштейн первоначально доверился своей интуиции и решил, что предположение (ii) является истинным (если ее черпать из трудов самого Эйнштейна), дает весьма незавершенную картину, которая в ряде случаев только подразумевается. Но даже если бы мы обладали полной ясностью на этот счет, перед нами все еще стоял бы тот же самый вопрос относительно предположения (i) и мы были бы вынуждены пытаться ответить на него, получив еще меньшую помощь со стороны самого Эйнштейна.

Значение, которое имеет также и понимание того, на каких основаниях Эйнштейн полагал, что может спокойно выдвинуть предположение (i), раскрывается следующим важным фактом: если в соответствии с ньютоновской концепцией можно высказать мысль, что предположение (i) *ошибочно*, тогда уверенность в истинности одного только предположения (ii) *не* будет достаточным основанием для отрицания сформулированной Ньютоном доктрины абсолютной одновременности. И если бы дело случайно обстояло именно так, то члены научного общества, которым Эйнштейн адресовал свою статью 1905 года, имели бы полное право *отвергнуть* его точку зрения на относительный характер одновременности. Однако отрицание последней концепцией абсолютной одновременности является *решающим* для принципа постоянства скорости света, как это видно из эйнштейновской формулировки этого принципа в разделе втором его статьи 1905 года.

Эйнштейн специально подчеркивает там, что если «каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом», тогда «промежутки времени следует понимать в смысле [соглашения или] определения [одновременности] в § 1»¹. Неизбежность предположения (i) для эйнштейновской концепции одновременности была еще очевидна из того, что физик-ньютоновец, вполне естественно, рассматривал в качестве фундаментальных указателей временного порядка не связуемость событий с помощью сигналов, а показания соответствующим образом транспорти-

¹ См.: А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 10.

руемых часов. Ньютоновец признает, конечно, что истинность положения (ii) подразумевает такие далеко идущие ревизии его теоретических построений, как отказ от второго закона движения, который допускает, чтобы частицы достигали произвольно больших скоростей с помощью ускорений, длящихся соответствующее время. Однако он решительно и правильно утверждает, что *если* предположение (i) является *ошибочным*, то абсолютная одновременность остается незыблемой независимо от истинности предположения (ii).

Большое историческое и логическое значение имеет также то, что в «Принципах математической физики» и в речи, произнесенной в Сан-Луи 24 сентября 1904 года и опубликованной в журнале «The Monist» (Vol. XV, 1905, pp. 1—24)¹, Пуанкаре предвидел построение новой механики, в которой скорость света будет играть ограничивающую роль. Хотя он завершил эту речь замечанием «еще ничто не доказывает, что (старые) принципы не выйдут из этого сражения победоносно и без потерь»², он все же высказал такое пророчество:

Из всех этих результатов, если они подтвердятся, возникнет по существу новая механика, которая будет, кроме всего прочего, характеризоваться тем фактом, что никакая скорость не сможет превзойти скорость света, так же как температура не может упасть ниже абсолютного нуля, поскольку тела будут противопоставлять причинам, стремящимся ускорить их движение, все возрастающую инерцию; и эта инерция станет бесконечной, когда тело достигнет скорости света³.

Однако в отличие от Эйнштейна Пуанкаре не удалось оценить значение этого нового, ограничивающего постулата для истолкования одновременности. В той же самой речи⁴ он говорит о пространственно разделенных часах, которые показывают *то же самое время в те же самые физические менования*. И он проводил различие между часами, которые показывают «истинное время», и теми, которые показывают только «локальное время»; это различие также проводилось, как мы еще увидим, Лоренцом и Лармором. Но Пуанкаре отмечал, что галилеев наблюдатель

¹ Эта речь Пуанкаре перепечатана в «Scientific Monthly», Vol. LXXXII, 1956, p. 165.

² «The Monist», Vol. XV (1905), p. 24.

³ Ibid., p. 16.

⁴ Ibid., p. 11.

не будет в состоянии установить, является ли его система такой, в которой часы показывают заведомо ложное локальное время. В соответствии с этим он утверждает, что существует «принцип относительности, согласно которому законы физических явлений должны быть одинаковыми как для покоящегося наблюдателя, так и для наблюдателя, находящегося в равномерном и прямолинейном движении, так что мы не имеем никаких средств решить, находимся мы в состоянии такого движения или нет»¹.

Что же говорит сам Эйнштейн относительно тех первоначальных оснований, на которых он сделал вывод об истинности предположения (ii)? Здесь существенно процитировать его самого *in extenso* (дословно). Он пишет:

Постепенно я стал отчаиваться в возможности докопаться до истинных законов путем конструктивных обобщений известных фактов. Чем дольше и отчаяннее я старался, тем больше я приходил к заключению, что только открытие общего формального принципа может привести нас к надежным результатам. Образцом представлялась мне термодинамика. Там общий принцип был дан в предложении: законы природы таковы, что построить вечный двигатель (первого и второго рода) невозможно. Но как же найти общий принцип, подобный этому? Такой принцип я получил после десяти лет размышлений из парадокса, на который я натолкнулся уже в 16 лет. Парадокс заключается в следующем. Если бы я стал двигаться вслед за лучом света со скоростью c (скорость света в пустоте), то я должен был бы воспринять такой луч света как покоящееся, переменное в пространстве электромагнитное поле. Но ничего подобного не существует; это видно как на основании опыта, так и из уравнений Максвелла. Интуитивно мне казалось ясным с самого начала, что, с точки зрения такого наблюдателя, все должно совершаться по тем же законам, как и для наблюдателя, неподвижного относительно Земли. В самом деле, как же первый наблюдатель может знать или установить, что он находится в состоянии быстрого равномерного движения?

Можно видеть, что в этом парадоксе уже содержится зародыш специальной теории относительности. Сейчас, конечно, всякий знает, что все попытки удовлетворительно разъяснить этот парадокс были обречены на неудачу до тех пор, пока аксиома об абсолютном характере времени и одновременности оставалась укоренившейся, хотя и не осознанной в нашем мышлении. Установить наличие этой аксиомы и признать ее произвольность, в сущности, уже означает решить проблему. Критическому мышлению, необходимому для

¹ «The Monist», Vol. XV (1905), p. 5; см. также: H. M. Schwartz, A Note on Poincaré's Contribution to Relativity, «American Journal of Physics», Vol. 33, № 2, 1965, p. 170. Весьма содержательная оценка этих доэйнштейновских концепций дана Бергманом. См.: P. Bergmann, Fifty Years of Relativity, «Science», Vol. CXXIII (1956), p. 123.

того, чтобы нащупать эту центральную точку, сильно способствовало, в частности, чтение философских трудов Давида Юма и Эрнста Маха¹.

Мы видим, что Эйнштейн указывает, по существу, на три причины, почему он с самого начала был уверен в истинности предположения (ii), отмечая, что, подобно двум основным законам термодинамики, это предположение является «принципом бессилия», если использовать выражение Уайттекера². Эйнштейн явно различает три следующие причины: 1) «исходя из опыта», можно сказать, что «неподвижных» световых волн не существует, 2) из уравнений Максвелла существование таких явлений не следует, и 3) с самого начала было интуитивно ясно, что преимущественной инерциальной системы не существует; законы физики, включая и законы распространения света, будут одинаковыми во всех этих системах. Эти три причины нуждаются в комментариях.

1. Неудача нашего опыта в обнаружении существования неподвижных световых волн не дает, конечно, оснований предполагать, что они не существуют только потому, что опыт не содержит обстоятельств, необходимых для наблюдений этих волн, если таковые существуют. Какими могут быть данные обстоятельства? Предположим, что физически возможно существование такой звезды, которая удаляется от Земли со скоростью света. Предположив, что на самом деле имеется такая звезда, далее постулируют, что скорость света, излученного этой звездой в направлении Земли, равна *c* относительно звезды, скорость же света относительно Земли будет задаваться правилом сложения скоростей Галилея — Ньютона и, следовательно, будет равна нулю. Тогда Земля сохраняла бы *постоянное расстояние* от фронта световой волны. И если бы мы имели способ обнаружить эту неподвижную световую волну, то тем самым получили бы доказательство ее существования. *Mutatis mutandis* источник света в лаборатории, движущейся со скоростью света *c*, мог бы вызвать к жизни феномены того же самого типа. Возможно, Эйнштейн рассматривал подобные условия как ситуации, где наш опыт должен был бы обнаружить существование неподвижных световых волн.

¹ А. Эйнштейн, Автобиографические заметки, «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 277—278.

² См.: E. T. Whittaker, *From Euclid to Eddington*, Cambridge: Cambridge University Press, 1949, § 25, pp. 58—60.

Однако если это так, то вызывает удивление, почему он придавал столь большое значение этому наблюдательному аргументу с точки зрения предположения (ii). Ибо он, несомненно, был осведомлен о случайном характере условий, при которых возможно наблюдение рассматриваемых явлений. В частности, необходимо отметить, что высказывание Эйнштейна об «опытной основе» в данной ситуации не может предполагаться как ссылка на эксперименты 1902—1906 годов Кауфмана и других по движению электронов (β -излучения) в электрических и магнитных полях. Ибо если мы предположим, что ему эти эксперименты были известны, то они должны были бы поставить его в затруднение именно в отношении истинности предположения (ii): показывая несовместимость изменения массы в зависимости от скорости с ньютоновой динамикой, результаты этих экспериментов не противоречили бы формулам динамики Абрагама, которые допускали скорости частиц, *превышающие скорость света в вакууме*¹.

Джон Стэчел высказал интересное предположение, что ключ к эйнштейновской ссылке на «опытную основу» может быть найден в его комментариях по поводу значения результатов эксперимента Физо, где изучалась скорость распространения света в движущихся жидкостях. Относительно эмпирической формулы, выражающей результаты Физо, Эйнштейн писал: «Из только что приведенной формулы получается интересное следствие, что жидкость, не преломляющая свет ($n = 1$), не будет влиять на распространение света в ней даже тогда, когда она движется»².

2. Можно ли считать, что существование неподвижных световых волн исключается уравнениями Максвелла, если не признавать принципа относительности, который гарантирует справедливость уравнений Максвелла в их обычной форме во всех инерциальных системах? Иными словами, можно ли рассматривать вторую причину, по которой отвергается возможность существования неподвижных световых

¹ Более подробно см.: M. v o n L a u e, Die Relativitätstheorie, Bd I, S. 26—27. Эксперименты, которые можно было бы разумно интерпретировать как строгую поддержку эйнштейновского предположения (ii), не были успешными еще много лет спустя. См.: C. M ö l l e r, The Theory of Relativity, op. cit., pp. 85—89.

² А. Эйнштейн, Теория относительности, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 412.

волн и которая открыто признается Эйнштейном, не как логический вывод из третьей, а как нечто иное? Ясно, что если уравнения Максвелла *связаны* с принципом относительности, тогда эти уравнения, несомненно, исключают существование неподвижных световых волн в любой инерциальной системе. Хотя уравнения Максвелла и нековариантны относительно преобразований Галилея, однако отсюда все же не следует, что неподвижные световые волны в системе S , движущейся со скоростью c относительно преимущественной системы K (эфир) и обладающей координатами, связанными *галилеевыми* преобразованиями с координатами системы K , запрещаются этими уравнениями. Поскольку Эйнштейн не упоминает о «галилеевых преобразованиях» уравнений Максвелла, может показаться, что интуитивное признание справедливости принципа относительности было единственной причиной его уверенности в правильности своего утверждения о несовместимости неподвижных световых волн с уравнениями Максвелла.

3. В свете очевидной неубедительности апелляции к опыту и излишности предположения (2) по сравнению с (3) среди причин, о которых говорил Эйнштейн, мы главное внимание уделим его интуитивной уверенности в принципе относительности как основе его предположения (ii).

Обычно говорят, что Эйнштейн пришел к предположению об истинности (ii) прежде всего путем выведения его из формул сложения скоростей. Это утверждение *не* подкрепляется соответствующим историческим доказательством, а выдвигается как *исторический вывод* из глубоко укоренившегося в сознании предположения, которое ошибочно как в смысле формальной логики, так и в философском отношении. Эта двойная ошибка состоит в убеждении, что а) релятивистский закон сложения скоростей подразумевает предположение (ii) и б) что предположение (ii) *не* подразумевается принципом постоянства скорости света (а следовательно, и преобразованиями Лоренца), но впервые было введено в специальную теорию относительности из закона сложения скоростей.

Однако мы сейчас покажем, что как а), так и б) представляют собой грубые ошибки.

Если какой-нибудь объект обладает компонентами скорости u'_x , u'_y и u'_z в инерциальной системе K' , движущейся со скоростью v вдоль положительного направления оси x в другой инерциальной системе K , тогда соответствующие

компоненты скорости u_x , u_y и u_z в K будут

$$u_x = \frac{u_{x'} + v}{1 + u_{x'}v/c^2},$$
$$u_y = \frac{u_{y'}(1 - v^2/c^2)^{1/2}}{1 + u_{x'}v/c^2},$$
$$u_z = \frac{u_{z'}(1 - v^2/c^2)^{1/2}}{1 + u_{x'}v/c^2}.$$

Каковы бы ни были компоненты скорости в одной системе в данное время, эти уравнения преобразований соотносят их с соответствующими компонентами в другой системе. Это видно из поведения функции $u_x = f(u_{x'}, v)$ при значениях *независимой* переменной $u_{x'}$, которые *превышают* c ; исключение этих величин из спектра $u_{x'}$ ясно требует иных оснований, чем приведенные выше преобразования скоростей. Таким образом, если $u_{x'} = 2c$, в то время как $v = c/2$, тогда $u_x = 5c/4$. Опять же если $v < c$, а окончательная скорость *больше*, чем c , то величине $u_x = c^2/v$ соответствует *бесконечная* скорость $u_{x'}$. И сверхсветовые значения компонент скоростей, которые получаются из закона сложения скоростей, фактически вообще допускаются и специальной теорией относительности, *если только они* не относятся к передаче со сверхсветовыми скоростями каких-либо причинных влияний, то есть энергии или вещества. *Неважно*, что приведенные выше уравнения для компонент u_y и u_z *исключают* возможность для системы K' иметь относительную скорость v , превышающую c за счет добавления воображаемых величин. Ибо этот результат *не* запрещает, чтобы ускоряющиеся объекты имели компоненты скорости в K' , величина которых в зависимости от времени *превышала бы* c .

Единственное, чего требовал Эйнштейн от релятивистских формул сложения скоростей в пятом разделе своей статьи 1905 года, и единственное, что они доказывают, состоит в следующем: «Результирующая скорость, получающаяся при сложении двух скоростей, которые меньше V , всегда меньше V », и «скорость света V от сложения со скоростью, которая меньше скорости света, не может быть изменена»¹. Ложные представления о выведении предположения (ii)

¹ См.: А. Эйнштейн, К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 21.

из релятивистских законов сложения скоростей отмирают, однако с трудом, поскольку подобное выведение было осуществлено в работах таких выдающихся авторов, как Уайттекер¹ и Толмен².

Столь же неверно и мнение о том, что предположение (ii) *не содержится* в принципе постоянства скорости света (и следовательно, в преобразованиях Лоренца). Это ошибочное мнение приводит к утверждению, что предположение (ii) якобы еще требует логического подтверждения, в то время как закон сложения скоростей выводится из преобразований Лоренца. Ошибочность такого мнения может быть доказана следующим образом. Эйнштейн вывел законы сложения скоростей в пятом разделе своей статьи 1905 года с помощью преобразований Лоренца из двух основных принципов его второго раздела, а именно принципа относительности и принципа постоянства скорости света. Далее, последний принцип предполагает, как он подчеркивает в начале второго раздела, что промежутки времени, необходимый свету для прохождения пути в *одном* направлении, который входит в формулу скорости света в *одном* направлении, основывается на *определении одновременности, которое дано в первом разделе*, но это определение в свою очередь покоится на открытом признании конвенционалистской, а не абсолютистской концепции одновременности. Поскольку вывод законов сложения скоростей предполагает, таким образом, отрицание абсолютной одновременности, он явно имеет в качестве *одной* из своих предпосылок предельный характер скорости света *в вакууме*, то есть предположение (ii). Следовательно, даже в том случае, если бы предположение (ii) можно было вывести из закона сложения скоростей, этот закон все же не мог бы быть той основой, на которой Эйнштейн пришел к выводу о справедливости предположения (ii).

Очевидно, что логическая и философская путаница относительно роли предположения (ii) порождает ошибки и в историческом анализе постулирования Эйнштейном этого предположения.

¹ E. T. Whittaker, A History of the Theories of Aether and Electricity, London: Thomas Nelson & Sons, 1953, Vol. II, p. 38.

² R. C. Tolman, Relativity, Thermodynamics and Cosmology, Oxford: Oxford University Press, 1934, p. 26.

Теперь мы можем высказать догадку относительно того, как Эйнштейн обосновывал предположение (i). Напомним, предположение (i) говорит о том, что в рамках класса событий транспортировка материальных часов не устанавливает отношения абсолютной одновременности. Как в приведенной нами цитате из творческой автобиографии Эйнштейна, так и в его формулировке принципа постоянства скорости света в разделе втором его статьи 1905 года Эйнштейн ясно говорит о том, что *абсолютистская концепция одновременности* являлась гордиевым узлом, преграждавшим путь к решению парадокса, который мучил его в отроческие годы, то есть к примирению двух основных принципов второго раздела его статьи. Однако предположение (i) было ничуть не менее необходимо для отрицания абсолютной одновременности, чем предположение (ii). Следовательно, нужно думать, что его уверенность в справедливости предположения (i) должна также основываться на вере в правильность обоих этих принципов, содержащихся во втором разделе.

Г. Принцип постоянства скорости света и ошибочность гипотезы сокращения, выдвинутой сторонниками теории эфира Лоренцом и Фицджеральдом

Принцип постоянства скорости света — впрямь для краткости мы будем именовать его «принципом света» (light principle) — утверждает, что скорость света выражается одной и той же константой во всех инерциальных системах независимо от относительной скорости источника и наблюдателя, от направления, положения и времени¹. Нам нужно посмотреть, в каком смысле нулевой результат

¹ В противоположность эмиссионной теории света классическая теория эфира говорила о независимости скорости света в эфире, от скорости его *источника*, утверждая в то же время ее зависимость от движения наблюдателя относительно эфирной среды.

Раш отмечал [«Scientific American», Vol. CXCIII (August 1955), p. 62], что постоянство скорости света во временном плане можно считать спорным: измерения, проводившиеся в течение более чем половины столетия, дают три совершенно различных множества значений *c*. Исчерпывающий очерк современных измерений скорости света см. в статье Бергштранда «Определение скорости света» [«Determination of the Velocity of Light», «Handbuch der Physik», hrsg. Flügge (Berlin, J. Springer, 1956), Bd XXIV, S. 1—43].

опыта Майкельсона — Морли можно рассматривать как законное подтверждение релятивистского принципа света.

В результате нашего обсуждения станет очевидной полная ошибочность предположения некоторых авторов о том, что опыт Майкельсона — Морли дает достаточную экспериментальную основу для принципа света. А отдельные положения эмпирического и философского характера, из которых состоит принцип света, сделают очевидной *ошибочность* другого вывода: поскольку два различных галилеевых наблюдателя дают с формальной точки зрения одинаковое описание поведения одного и того же светового импульса, излученного после того, как начала координат их систем совпали, то и соответствующие сферические формы распространения этого возмущения, которые они «наблюдают» в своих системах отсчета, состоят из одних и тех же точек-событий или из одной и той же конфигурации фотонов.

Иногда делается непродуманная попытка представить в качестве правдоподобного ошибочное заключение из этого неверного рассуждения с помощью верного, но не относящегося к делу замечания, что противоречить друг другу могут суждения, но не наблюдаемые события. Как будто утверждение о том, что световой импульс распространяется сферически в каждой инерциальной системе, обосновывается только с помощью чувственных наблюдений, а не предполагает теории относительно статуса одновременности как внутри систем, так и между ними.

Обвинение в том, что выдвигавшиеся в рамках теории эфира гипотезы сокращения пространства «Лоренца — Фицджеральда» и расширения времени «Лоренца — Лармора» являлись каждая в отдельности и обе вместе гипотезами *ad hoc*, весьма рельефно выступает в дебатах между концепцией, которая преобразованиям Лоренца пытается дать интерпретацию с точки зрения теории эфира, и релятивистской интерпретацией Эйнштейна. Гипотеза Лоренца — Фицджеральда о сокращении, которую мы впредь будем именовать *L-F*-гипотезой, наиболее широко используется в учебниках и школьных иллюстрациях в качестве примера вспомогательной гипотезы *ad hoc*. Ясное понимание того, что существуют различные смыслы, в которых какая-нибудь вспомогательная гипотеза может быть оценена как гипотеза *ad hoc*, позволит нам определить, в каком из этих различных смыслов, если таковые имеются, одна или обе вышеупомянутые гипотезы являются на самом деле гипотезами

ad hoc. Следовательно, такая ясность может внести вклад в историческое понимание логических и психологических факторов, которые позволили Эйнштейновой релятивистской трактовке преобразований Лоренца завоевать признание в ущерб предшествующей конкурентной интерпретации этих преобразований с позиций теории эфира.

Мы начнем с разъяснения и оценки отрицания *L-F*-гипотезы самим Эйнштейном. Будет удобно присвоить особое наименование исходу частного эксперимента определенного типа, который ставит в затруднение благополучно существующую теорию *T*, как это имело место в случае с опытом Майкельсона — Морли, нулевой исход которого поставил в затруднение классическую теорию эфира.

Используя первую букву слова «затрудняющий» (*embarrassing*) в качестве префикса, мы будем называть такой ставящий в затруднение результат *E*-результатом некоторого частного эксперимента по отношению к теории *T*. Нужно уяснить себе, что в контексте любой частной теории точное определение атрибутов, характеризующих *некоторый* данный эксперимент, как таковой, и отличающий его от других, задается путем ссылки на определенные условия, при которых теория *T* приводит к точно установленным частным значениям переменных, являющихся ингредиентами постулатов этой теории. Это точное определение необходимо для строгой постановки вопроса о том, предоставляет ли сама вспомогательная гипотеза, которая в контексте данной теории призвана объяснить затрудняющий результат некоторого эксперимента, возможность независимой проверки, по крайней мере в каком-то одном эксперименте *иного типа*.

Говоря о реакции Эйнштейна на гипотезу сокращения Лоренца — Фицджеральда, Вертхаймер сообщает, что

для Эйнштейна ситуация была не менее мучительной, чем раньше: он чувствовал, что вспомогательная гипотеза является гипотезой ad hoc и не ведет к сердцу материи... Он чувствовал, что затруднение идет гораздо глубже противоречия между ожидаемым и действительным результатом Майкельсона.

Поскольку Эйнштейн отказался, таким образом, от той версии теории эфира, которую предлагали Лоренц и Фицджеральд, как от гипотезы ad hoc, и решил начать поиски новой конкурентной теории, мы полагаем, что отрицание им гипотезы сокращения как гипотезы ad hoc равносильно

следующим требованиям. (1) До E -результата опыта Майкельсона — Морли никакой другой эксперимент не приводил к результатам, подтверждающим гипотезу сокращения. (2) Следует ожидать, что модификация теории эфира Лоренцом и Фицджеральдом не подтвердится последующими проверками, отличающимися от эксперимента Майкельсона — Морли.

На основании этого предположения он отказался признать справедливость $L-F$ -гипотезы в качестве объяснения нулевого результата эксперимента Майкельсона — Морли. Таким образом, мы понимаем эйнштейновское отрицание гипотезы сокращения как гипотезы *ad hoc* не только в качестве предположения, но и как утверждение о том, что эта гипотеза на самом деле «доступна независимой проверке», то есть ее можно проверить с помощью экспериментов, отличных от опыта Майкельсона — Морли. Мы истолковываем употребление Эйнштейном термина *ad hoc* как постулирование того факта, что, хотя гипотеза сокращения и допускает независимую проверку, она *по сравнению с утверждениями новой конкурентной теории* все же потерпит крах при попытке доказать ее с помощью последующего независимого экспериментального подтверждения.

После некоторого анализа мы увидим, что если сам Эйнштейн рассматривал гипотезу сокращения как гипотезу *ad hoc* именно в *этом* смысле, то он был совершенно прав. Анализ, который оправдывает Эйнштейна, также полностью *опровергнет* стандартные возражения в адрес гипотезы сокращения, которые упрекают эту гипотезу в том, что она является гипотезой *ad hoc* в *совершенно ином смысле*, то есть как гипотезу, которая *не* может быть подвергнута проверке *независимо* от опыта Майкельсона — Морли. Попытаемся дать оценку утверждению, что гипотеза сокращения, выдвинутая Лоренцом и Фицджеральдом, является гипотезой *ad hoc* в этом широко распространенном смысле. Здесь весьма существенно устранить впечатление, которое складывается о понятии возможности независимой проверки под влиянием существующей литературы. Возникновение такого впечатления, как и необходимость устранения его, обусловлено следующими соображениями.

Во-первых, когда утверждают, что гипотеза сокращения не ведет ни к каким следствиям, с помощью которых она может быть проверена иным образом, нежели в экспериментах типа опыта Майкельсона — Морли, то делается ссылка

на множество *всех* наблюдательных следствий данной теории T . Однако множество всех наблюдательных следствий данной достаточно сложной теории T может иметь точно определенные составляющие только в том случае, если мы определяем границы и, если это возможно, устанавливаем точные правила соответствия (иногда ошибочно именуемые «операциональными определениями»), относительно которых считают, что они вместе с постулатами теории T составляют данную теорию и связывают постулаты T с наблюдательной основой. Ибо при отсутствии такого разграничения или при «замерзании» теории на данной стадии ее развития теоретические термины, в которых сформулированы постулаты теории T , представляют собой «открытые» понятия: они позволяют ввести дополнительные правила соответствия («операциональные определения») к тем правилам, которые составляют только частичную эмпирическую интерпретацию постулатов теории T в любое данное время. И эта открытая структура теоретических терминов теории T должна в таком случае способствовать созданию соответствующего впечатления относительно незамкнутости свойства принадлежности к классу наблюдательных следствий теории T . Следовательно, последний класс должен быть соотнесен с особым классом правил соответствия, имеющим определенные границы. Таким образом, системный атрибут возможности независимой проверки вспомогательной гипотезы, а также отрицание этого атрибута, то есть отнесение ее к классу гипотез *ad hoc*, связаны соответствующим образом с точно ограниченным множеством правил соответствия. В свете этого рассмотрим некоторую вспомогательную гипотезу H , которая вводится в систему данной теории T в ответ на исход эксперимента, который является E -результатом для теории T . Ясно, что обладание системным атрибутом возможности независимой проверки и *непринадлежность гипотезы H к классу гипотез *ad hoc** в рамках теории T никоим образом не зависят от того, *осознают* ли защитники H -гипотезы возможность такой независимой проверки. Предполагать, что существует такая зависимость, столь же ошибочно, как и утверждать, что вопрос о том, является ли данное математическое предложение теоремой в данной системе аксиом, зависит от того, обладает ли математик психологическим атрибутом ясного понимания, что данное предложение действительно является теоремой. Мы увидим, что гипотеза сокращения, конечно, *не* составляет *ad hoc*

модификации теории эфира в том смысле, о котором здесь идет речь. Мы покажем, что ее подтверждение логически возможно в экспериментах иного типа, чем те, к которым относится опыт Майкельсона — Морли. Следовательно, если Лоренц и Фицджеральд фактически не знали об этом и не верили в возможность независимой проверки последнего типа данной вспомогательной гипотезы, то их незнание и неверие не дают оснований изображать данную гипотезу как гипотезу *ad hoc*. Если эти теоретики защищали свою гипотезу сокращения и в то же время ошибочно полагали, что она представляет собой гипотезу *ad hoc*, то эта защита указывает только на их собственную методологическую беспринципность в данном вопросе.

В таком случае выдвижение гипотезы сокращения можно было бы рассматривать как операцию *ad hoc* в *психологическом* отношении. Однако последующее доказательство возможности независимой проверки предполагавшегося ими сокращения вообще не принимает во внимание ту веру, которую они фактически разделяли относительно возможности независимой проверки.

Понятие возможности независимой проверки требует более точной формулировки, чем это делалось до сих пор, насколько нам известно. На необходимость этого уточнения также в другом отношении указал нам в частной переписке Карл Гемпел¹. Гемпел отмечает, что, строго говоря, никакая вспомогательная *H*, которая предлагается для спасения теории *T* при наличии *E*-результата, не допускает независимой проверки сама по себе, она всегда является гипотезой *ad hoc* по причине именно невозможности независимой проверки отдельно от *T*. Так, *H* содержит в себе наблюдательные следствия, допускающие проверку только в месте с одним или несколькими исходными или выводными принципами теории *T*. Таким образом, Гемпел отмечает, что понятие возможности независимой проверки и понятие *ad hoc* гипотезы должны принимать во внимание этот контекстуальный характер наблюдательного значения гипотезы *H*. И он подсказывает, что это можно попытаться сделать в следующем направлении: дано, что теория *T*, не содержащая гипотезы *H*, приводит к ошибочному наблюдательному выводу *F*, тогда вспомогательная гипотеза *H* является

¹ Мне бы хотелось поблагодарить профессора Гемпела за его любезное разрешение сослаться на эту переписку.

гипотезой *ad hoc* в контексте теории T , если комбинация теории T с гипотезой H , которую мы будем именовать TN , приводит к тем же наблюдательным следствиям, что и T , за единственным исключением единичного, ошибочного с точки зрения наблюдения вывода F . Таким образом, если гипотеза H должна быть гипотезой *ad hoc*, то все наблюдательные следствия теории T , кроме F , должны быть идентичными с выводами из TN . И здесь следует понять, что наблюдательный вывод F покрывает бесконечный класс наблюдательных утверждений, отличающихся друг от друга только по месту и времени, к которым они относятся.

Далее, Гемпел отмечает, что эта дефиниция принадлежит к классу гипотез *ad hoc* включает в себя понятие единичного наблюдательного вывода, относящегося только к исходу некоторого конкретного эксперимента. И он задает вопрос, может ли последнее понятие быть описано в *чисто логических терминах* таким образом, чтобы всегда допускать возможность оценки вспомогательной гипотезы H как гипотезы *ad hoc* в соответствии с требованиями данной дефиниции. Ибо Гемпел сомневается, можно ли в любое время любую гипотезу H оценить как гипотезу *ad hoc* или же такая оценка может оказаться ошибочной в силу осуществимости точного определения в *чисто логических*, а не «указательных» терминах того, что составляет (1) один конкретный или какой-то единичный эксперимент и (2) единичное наблюдательное следствие F из теории T , относящееся к исходу некоторого конкретного эксперимента. Основания для такого сомнения, с его точки зрения, следующие. Во-первых, любая попытка получить такое логически точное определение какого-то одного эксперимента и его содержания F должна была бы исключать все то, что в некотором нестрогом смысле выражается в вариантах одного данного эксперимента. Тем самым из сферы событий, покрываемых F , исключаются также и результаты этих вариантов эксперимента. Однако и в случае этих вариантов TN с таким же успехом предсказывала бы иной исход, чем это следует только из теории T , так что TN отличалась бы от теории T по своему наблюдательному смыслу не только в отношении F . Таким образом, никакую H нельзя было бы квалифицировать как гипотезу *ad hoc* в смысле предложенной дефиниции. И во-вторых, любое доказательство того, что частная гипотеза H не является гипотезой *ad hoc*, могло бы быть оспорено как неубедительное даже в том случае, если

бы проверка предполагала наличие экспериментов двух типов, для *каждого* из которых T_H предсказывает исход, отличный от того, который предсказывается одной только теорией T . Ибо отсутствие четких, чисто логических границ, определяющих, что представляет собой какой-то один тип эксперимента, позволяет утверждать, что два каких-то эксперимента различного типа представляют собой только разновидности эксперимента одного типа.

На основе этих сомнений в том, что можно в чисто логически терминах определить атрибуты принадлежности к классу гипотез *ad hoc*, Гемпел высказывает соображения, что важное в методологическом отношении понятие принадлежности к классу гипотез *ad hoc* подразумевает следующую идею, которой нельзя дать определение в чисто логических терминах. Вспомогательная гипотеза H , которая позволяет теории T объяснить в конъюнкции с H E -результат, есть гипотеза *ad hoc*, если она *не* имеет никаких наблюдательных следствий, которые *существенно* или *значительно* отличаются от E -результата.

Мы рассматриваем как обоснованные сомнения Гемпела в том, что можно определить в чисто логических терминах свойство принадлежности к классу гипотез *ad hoc*. И мы согласны с его утверждением, что точное определение дается в указательных терминах, так сказать, на основе суждений, относящихся к частной теоретической системе, которая рассматривалась в данном случае. Поэтому мы привлекаем понятия *существенно* *отличного* наблюдательного вывода, когда высказываем свое особое мнение относительно вопроса о том, представляет ли собой $L - F$ -гипотеза гипотезу *ad hoc* в контексте теории эфира. Чтобы сделать это, нам нужно теперь точно определить, что следует понимать под экспериментом, относящимся к типу опыта Майкельсона — Морли в отличие от других типов и что нужно понимать под наблюдательными следствиями из теории эфира, имеющими отношение к исходу эксперимента этого типа. Соответствующим наблюдательным следствием F теории эфира будет утверждение, что время T_v прохождения светом пути туда-обратно для вертикального плеча интерферометра, перпендикулярного направлению движения Земли,

$$T_v = \frac{2l}{(c^2 - v^2)^{1/2}},$$

тогда как время T_h прохождения светом пути туда-обратно для горизонтального плеча, установленного в направлении

движения Земли,

$$T_h = \frac{2l}{(c^2 - v^2)^{1/2}} \cdot \frac{1}{(1 - \beta^2)^{1/2}},$$

где

$$\beta \equiv v/c.$$

И это наблюдательное следствие F относится к *любому* эксперименту, который приводит к наблюдаемому сравнению двух времен прохождения светом пути туда-обратно в случае интерферометра с плечами *равной* длины l , находящегося в инерциальной системе, обладающей постоянной скоростью v относительно эфира. Любой эксперимент, обеспечивающий это наблюдательное сравнение, может быть, таким образом, классифицирован как эксперимент типа опыта Майкельсона — Морли, к которому относится дедуктивный вывод F из данной теории. В свете предупреждений Гемпела вопрос о том, представляет ли собой $L - F$ -гипотеза *ad hoc* модификацию теории эфира, формулируется следующим образом: можно ли проверить гипотезу Лоренца — Фицджеральда с помощью эксперимента другого типа, который существенным образом отличается от опыта, определяемого как опыт типа Майкельсона — Морли?

Теперь, если удастся доказать, что ответ на этот вопрос является утвердительным, мы установим, что $L - F$ -гипотеза *не* является гипотезой *ad hoc*.

Гипотеза Лоренца — Фицджеральда утверждает, что горизонтальное плечо интерферометра Майкельсона имеет сокращенную длину $l \cdot (1 - \beta^2)^{1/2}$, а не длину l . А раз длина l в выражении для времени прохождения светом пути туда-обратно вдоль горизонтального плеча интерферометра T_h заменяется этой сокращенной длиной, то и T_h становится *равным* T_v ; различие между ними *исчезает*, как того и требует нулевой результат эксперимента Майкельсона — Морли. То, что гипотеза Лоренца — Фицджеральда приводит к наблюдательным следствиям, *подтверждение* которых логически возможно независимо от экспериментов, относящихся к типу Майкельсона — Морли; может быть доказано следующим образом: модификация теории эфира, предложенная Лоренцом и Фицджеральдом, приводит к *другим* наблюдательным выводам, отличным от тех, которые предлагались теорией эфира для случая с экспериментом, относящимся к тому типу, который был выполнен Кеннеди

и Торндайком в 1932 году. Хотя в эксперименте типа Кеннеди — Торндайка также используется интерферометр, он существенным образом отличается от эксперимента типа Майкельсона — Морли. Ибо, во-первых, горизонтальное и вертикальное плечи в эксперименте Кеннеди — Торндайка, *измеренные в лаборатории с помощью стержней*, вовсе не равны, и длина их отличается настолько, насколько это возможно, поэтому они в наблюдательном отношении отличаются по значениям соответствующей переменной, теоретически выражающей длину. И во-вторых, в отличие от аппарата, используемого в опыте Майкельсона — Морли, интерферометр Кеннеди — Торндайка не обладал постоянной скоростью в эфире v , которая получается только в том случае, если сам аппарат остается в рамках одной инерциальной системы. Напротив, аппарат в эксперименте Кеннеди — Торндайка приобретал различные значения соответствующей теоретической переменной, а именно скорости, поскольку находился в различных инерциальных системах благодаря суточному вращению и годовому обращению Земли. Если вертикальное и горизонтальное плечи интерферометра имеют неравные длины и если, как свидетельствуют лабораторные измерения их длины с помощью стержней, они соответственно равны L и l , тогда различия между временем прохождения светом пути туда-обратно вдоль горизонтального и вертикального плечей, ожидаемые исходя из гипотезы Лоренца — Фицджеральда, будут *не такими*, как это ожидалось на основе первоначальной теории эфира. В частности, в случае эксперимента Кеннеди — Торндайка гипотеза Лоренца — Фицджеральда приводит к тому, что разность $T_v - T_h$ имеет неисчезающее значение

$$T_v - T_h = \frac{2(L-l)}{(c^2 - v^2)^{1/2}},$$

которое изменяется в зависимости от суточных и годовых измерений скорости аппарата v относительно эфира. Если бы ожидаемые изменения этой величины имели место, это позволило бы обнаружить любое изменение скорости аппарата v относительно эфира даже при учете сокращения, предполагаемого гипотезой Лоренца — Фицджеральда. Однако, если не принимать в расчет гипотезу Лоренца — Фицджеральда, то теория эфира в ее первоначальной форме

приводит к *иному* неисчезающему значению переменной

$$T_v - T_h = \frac{2}{(c^2 - v^2)^{1/2}} \left(L - \frac{l}{[1 - (v^2/c^2)]^{1/2}} \right).$$

Представляется очевидным, что для эксперимента типа Кеннеди — Торндайка логически возможно подтверждение независимо от эксперимента Майкельсона — Морли количественных предсказаний гипотезы Лоренца — Фицджеральда по сравнению с предсказаниями первоначальной теории эфира. И этот *логический* факт показывает, что гипотеза Лоренца — Фицджеральда *не* являлась гипотезой *ad hoc* в смысле Гемпела.

Эмпирическим фактом является, кроме того, еще и то, что эксперимент Кеннеди — Торндайка, осуществленный в 1932 году, не привел к сдвигу интерференционных полос, соответствующему различию во времени, которое вытекает из *L — F*-гипотезы. На самом деле эксперимент Кеннеди — Торндайка точно так же, как и опыт Майкельсона — Морли, имел отрицательный результат в том смысле, что не было никакого сдвига полос вообще. Таким образом, можно правомерно утверждать, что эксперименту Кеннеди — Торндайка не удалось обнаружить никакого положительного эффекта, наличие которого явилось бы *подтверждением* *L — F*-гипотезы. Однако было бы неверно предполагать, что неудача этой конкретной попытки подтвердить *L — F*-гипотезу достаточна для доказательства того, что эта гипотеза была *опровергнута* результатом эксперимента Кеннеди — Торндайка!

Мы сейчас увидим, что введение *дополнительной* по отношению к *L — F*-гипотезе вспомогательной гипотезы о расширении времени позволяет *вдвойне* подправленной таким образом теории эфира не только объяснить нулевой исход опыта Кеннеди — Торндайка, но и подтвердить в то же время гипотезу Лоренца — Фицджеральда. И тогда станет очевидным, что оправданием для отказа от *L — F*-гипотезы, равно как и от *вдвойне* подправленной теории эфира, являются философские предпосылки, исходя из которых Эйнштейн выдвинул конкурентную специальную теорию относительности и которые позволили ему отказаться от *вдвойне* подправленной теории эфира.

Зависимое от скорости различие во времени

$$\frac{2(L-l)}{(c^2 - v^2)^{1/2}},$$

которое получается из гипотезы Лоренца — Фицджеральда, может быть выражено иначе

$$T_v - T_h = \frac{2(L-l)}{c(1-\beta^2)^{1/2}}.$$

Теперь предположим, что в дополнение к гипотезе Лоренца — Фицджеральда мы принимаем еще одно вспомогательное предположение Лоренца — Лармора о том, что скорость хода часов в движущейся системе уменьшается пропорционально множителю $(1 - \beta^2)^{1/2}$ по сравнению с часами, расположенными в системе отсчета, связанной с эфиром. Согласно этому предположению о «расширении времени», считается, что разница во времени $T_v - T_h$ имеет постоянное значение

$$T_v - T_h = \frac{2(L-l)}{c},$$

которое не зависит от скорости аппарата по отношению к эфиру, что и подтверждается нулевым исходом опыта Кеннеди — Торндайка. Таким образом, когда теория эфира подправлена гипотезой Лоренца — Фицджеральда и гипотезой о расширении времени, она дает объяснение реальному исходу опыта Кеннеди — Торндайка.

Более того, вдвойне подправленный вариант теории эфира допускает чисто математический дедуктивный вывод преобразований Лоренца точно так же, как и специальная теория относительности Эйнштейна. И эта выводимость преобразований Лоренца из теории эфира позволяет нам видеть, что даже *конъюнкция* гипотезы Лоренца — Фицджеральда с предположением о расширении времени не является гипотезой *ad hoc*. То, что последняя конъюнкция вспомогательных гипотез на самом деле допускает проверку в эксперименте, который не зависит ни от эксперимента типа Майкельсона — Морли, ни от эксперимента типа Кеннеди — Торндайка, доказываемым примером с так называемым квадратичным оптическим Доплер-эффектом: будучи в *математическом отношении* идентичными с пространственно-временными преобразованиями специальной теории относительности, преобразования Лоренца вдвойне подправленной теории эфира приводят к Доплер-эффекту, который *отличен в количественном отношении* от эффекта, выводимого

мого из первоначальной теории эфира¹. Следовательно, отрицание вдвойне подправленной теории эфира не может быть оправдано утверждением, что соединение ее двух вспомогательных гипотез представляет собой операцию *ad hoc*, если не понимать термин *ad hoc* в смысле, *отличном* от того, в каком он употребляется Гемпелом.

Мы утверждаем, что существует очень полезное и интересное *различие* в смысле термина *ad hoc*, которое становится уместным, когда конъюнкция гипотез Лоренца — Фицджеральда и расширения времени в теории эфира оценивается в контексте теоретического соперничества между вдвойне подправленной теорией эфира и специальной теорией относительности. И эти различные смыслы термина *ad hoc* связаны соответственно с различием в смыслах термина «возможность независимой проверки», которое состоит в следующем. Поскольку наблюдательные следствия *интерпретации* преобразований Лоренца *с позиций теории эфира* являются точно такими же, как и следствия конкурентной релятивистской интерпретации, интерпретация с позиций теории эфира не может иметь никаких наблюдательных следствий, отличных от следствий конкурентной с ней специальной теории относительности. Следовательно, не может существовать никаких наблюдательных следствий, которые могли бы оказать поддержку вдвойне подправленной теории эфира против новой конкурентной специальной теории относительности, теории, которая отвергает постулат о существовании некоторой преимущественной инерциальной системы — эфира, если для этого нет никаких физических оснований. В свете отсутствия возможности независимой проверки именно *этого вида* для комбинации вспомогательных гипотез Лоренца — Фицджеральда и Лоренца — Лармора можно сказать, что защита этих гипотез только с целью поддержки теории эфира и *отказа* от специальной теории относительности представляет собой операцию *ad hoc* в новом смысле. И в этом новом смысле становятся совершенно ясными атрибуты *ad hoc* операции соединения двух вспомогательных гипотез по отношению к *двум* теориям, которые в *концептуальном отношении* конкурентны друг

¹ См. раздел седьмой фундаментальной статьи Эйнштейна о специальной теории относительности от 1905 года (А. Эйнштейн, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 25—27), а также M. von L a u e, Die Relativitätstheorie, Bd. I, S. 20.

другу, хотя по наблюдательным выводам различия между ними нет.

Поэтому, если мы отвергаем интерпретацию в рамках теории эфира в пользу релятивистской интерпретации, мы должны вернуться к поставленному в данном разделе вопросу: на каких основаниях можно утверждать, что релятивистский принцип света опирается на нулевой результат опыта Майкельсона — Морли?

Нулевой результат опыта Майкельсона — Морли показывает только, что если в рамках какой-нибудь инерциальной системы световые лучи совместно излучаются из данной точки в разных направлениях и затем отражаются зеркалами на равных расстояниях от этой точки (причем расстояния измеряются твердыми стержнями), то они после этого совместно возвращаются в общую точку излучения. При этом необходимо помнить, что равенство во времени прохождения лучами пути туда-обратно в различных направлениях в рамках системы измеряется в данном случае, конечно, не материальными часами, а самим светом (отсутствие сдвига интерференционных полос)¹. Повторение этого эксперимента в различные времена года, то есть в различных инерциальных системах, показывает только, что не существует никакого различия в рамках *любой* данной инерциальной системы между временами прохождения светом пути туда-обратно в любом направлении. Однако результат опыта Майкельсона — Морли не доказывает вовсе, что а) время, необходимое свету, чтобы покрыть путь туда-обратно (или в одном направлении) по замкнутой (или открытой) траектории длиной $2l$ (или l), имеет одно и то же численное значение в различных инерциальных системах, если оно измеряется материальными часами, установленными в этих системах², и что б) если в отличие от устройств, применяв-

¹ Поскольку различие во времени, ожидаемое с классической точки зрения, выражается величиной порядка 10^{-15} сек, можно сделать допущение о недостаточной точности измерения двух плеч. Однако такая неточность вполне допустима в свете того, что, согласно теории эфира, эффект несовпадения в длинах двух плеч интерферометра должен был бы *меняться* за счет движения Земли, поскольку аппарат вращается. См.: П. Г. Бергман, Введение в теорию относительности, ИЛ, М., 1947, стр. 42—46, и J. A h a r o n i, The Special Theory of Relativity, Oxford: Oxford University Press, 1959, pp. 270—273.

² Понятно, что длины $2l$ в различных системах являются каждая отношением пути к одному и тому же эталонному стержню, который, по определению, при перемещении не меняет своей длины.

шихся в опытах Майкельсона — Морли и Кеннеди — Торндайка, источник света находится вне системы K , в которой измеряется скорость, то эта скорость в K не будет зависеть от скорости источника относительно K . В действительности утверждение относительно времени прохождения светом пути туда-обратно при наличии условий а) было проверено экспериментом Кеннеди — Торндайка в 1932 году, и мы увидим, что утверждение относительно условий б) получает свое подтверждение при наблюдении света, идущего от двойных звезд¹. Однако принцип света, несомненно, утверждает как а), так и б) и, таким образом, явно требует более убедительных доказательств, чем те, которые обеспечиваются экспериментом Майкельсона — Морли. Итак, мы можем заметить, что в дополнение к результату опыта Майкельсона — Морли принцип света подразумевает подтверждение по крайней мере трех следующих тезисов.

1) Утверждение, обозначенное нами а), несомненно, содержит предположения, идущие дальше нулевого результата опыта Майкельсона — Морли. Для краткости мы будем именовать его «аксиомой часов», поскольку это название будет напоминать о его отношении к временам прохождения светом соответствующих путей, которые отсчитываются часами. Несмотря на отсутствие экспериментального подтверждения принципа света в то время, когда он был сформулирован Эйнштейном, эта «аксиома часов» была подсказана фундаментальным предположением специальной теории относительности о том, что не существует никакой преимущественной инерциальной системы.

2) Постулат Эйнштейна касается максимального характера скорости света, что приводит к конвенциональному характеру одновременности и ее относительности в рамках

¹ См.: J. A. H a r o n i, The Special Theory of Relativity, op. cit., pp. 269—270. Релятивистское предположение, обозначенное нами б), отрицалось баллистической теорией Ритца, которая утверждала, что скорость света в свободном пространстве относительно источника всегда равна c , но ее значение в системе K зависит от скорости источника относительно K . Тщательную оценку системы доказательств, направленных против гипотезы Ритца, см. в работе Паули «Теория относительности» (М.— Л., 1947, стр. 69). Дополнительное доказательство против предположения Ритца было обеспечено недавним экспериментом А. М. Бонч-Бруевича. См. «О прямом экспериментальном подтверждении второго постулата специальной теории относительности», «Оптика и спектроскопия», т. 9, вып. I, 1960.

данной инерциальной системы, равно как и между различными системами соответственно. Этот постулат *допускает*, но *не* подразумевает, что мы выбираем одно и то же значение $\varepsilon = 1/2$ для всех направлений в рамках данной системы, а также для всякой другой системы.

3) Утверждение, что скорость света в любой инерциальной системе не зависит от скорости его источника.

Чтобы специально показать, как справедливость принципа света зависит от всех этих тезисов, мы проанализируем следствия, вытекающие из отрицания одного из них, если сохраняют силу остальные два. Рассмотрим для этого скорость в одном направлении уходящего светового импульса, который покрывает расстояние l в системе S , а также скорость в одном направлении такого же импульса, покрывающего расстояние l в системе S' . Пусть T_S и $T_{S'}$ будут соответствующими временами, за которые эти уходящие лучи покрывают расстояния l в S и S' ; времена прохождения светом пути туда-обратно в этих системах будут соответственно τ_S и $\tau_{S'}$. В таком случае наше прежнее уравнение $t_2 = t_1 + \varepsilon (t_3 - t_2)$ из раздела Б будет выглядеть так:

$$T_S = \varepsilon \tau_S;$$

и подобным же образом для S' . Следовательно, соответствующие скорости в одном направлении в этих системах выражаются уравнениями

$$v_S = (l/T_S) = (l/\varepsilon \tau_S)$$

и

$$v_{S'} = (l/\varepsilon \tau_{S'}).$$

Наша задача состоит в том, чтобы определить следствия из предположения, что если на основании наблюдаемого значения $\tau_{S'}$ и выбора $\varepsilon = 1/2$ для системы S $v_S = c$, то из трех выше обозначенных ингредиентов принципа света достаточно только двух, чтобы гарантировать, что и $v_{S'}$ также будет равно c .

При отказе от аксиомы часов, пожалуй, может случиться так, что $\tau_S \neq \tau_{S'}$. В этом случае отношения $v_S = (l/\varepsilon \tau_S) = c$ и $v_{S'} = (l/\varepsilon \tau_{S'})$ говорят нам о том, что с помощью выбора $\varepsilon = 1/2$ в S' нельзя будет обеспечить $v_{S'} = c$. Конечно, можно было бы выбрать в таком случае соответствующее другое значение ε для S' с тем, чтобы сделать $v_{S'} = c$. Но точно так же, как последний выбор ε

может привести к значению c для скорости уходящего светового пучка в S' , он неизбежно подразумевает величину, отличную от c , для скорости возвращения. А такой результат недопустим, если считать, что принцип света справедлив.

Однако, если мы гарантируем $\tau_S = \tau_{S'}$,¹ предполагая справедливость аксимы часов, но не допуская свободы выбора значения ε для каждой инерциальной системы, отвергая второй тезис, тогда $v_{S'}$, несомненно, может отличаться от c . Ибо незаконный характер выбора ε , равного $1/2$ в системе S' , стал бы очевидным на основании физических фактов, несовместимых с конвенциональным характером одновременности, которые объективно зафиксировали бы значение $T_{S'}$, отличное от $1/2\tau_{S'}$.

Необходимость в третьем ингредиенте очевидна в свете уже сказанного.

Важно отметить, что даже в том случае, когда предполагается справедливость всех отмеченных выше ингредиентов, составляющих принцип света, ни один из фактов природы независимо от наших дескриптивных соглашений не противоречил бы нашему выбору значения ε , отличного от $1/2$, для каждой инерциальной системы, что делало бы скорость света отличной от c в обоих смыслах вдоль каждого направления во всех инерциальных системах. В одной из статей¹ нам удалось показать, что этот вывод не опровергается ни определением скорости света в одном направлении на основе измерений половины длины волны стоячих волн в камере резонатора, ни измерениями отклонения зарядов по электромагнитной и электростатической системам единиц. Следовательно, утверждение, что инвариантом скорости света является c , не представляет собой по своей сути чисто фактуального (factual) утверждения. Мы видели, что оно тем не менее является следствием физических фактов, которые считаются доказанными и говорят о том, что точное определение скорости света подразумевает элементы условности, и это в комбинации с другими фактуальными принципами позволяет нам сказать, что скорость света равна c .

¹ А. Г р и н б а у м, «American Journal of Physics», Vol. XXIV (1956), pp. 588—590.

Д. Экспериментальное подтверждение кинематики специальной теории относительности

Ясно, что опыт Майкельсона — Морли не может рассматриваться как эмпирическое доказательство «аксиомы часов», которая является ингредиентом принципа света. Поэтому желательным фактом является то, что эксперимент Кеннеди — Торндайка, описанный в разделе Г данной главы, может рассматриваться как подтверждение релятивистской аксиомы, отрицающей существование преимущественных инерциальных систем¹.

Если бы эксперимент Кеннеди и Торндайка привел к положительному, а не к нулевому результату, как это произошло на самом деле, тогда можно было бы утверждать, что опыт Майкельсона — Морли явился *bona fide* доказательством сокращения Лоренца — Фицджеральда, точно так же, как сдвиг интерференционных полос, вызываемый нагреванием одного из плеч интерферометра, мог бы рассматриваться как доказательство его удлинения. Однако, учитывая де-факто нулевой исход опыта Кеннеди — Торндайка, можно с достаточным основанием объяснить отсутствие суточных или годовых вариаций в различиях между временами отдельных пучков света *постоянством* количества времени, *которое необходимо каждому пучку света в разных инерциальных системах, чтобы пройти свой замкнутый путь*. И поэтому мы имеем право сказать, что опыт Кеннеди — Торндайка санкционирует аксиому часов с эмпирической точки зрения².

¹ Сидерхольм и Тоунс сообщали о своем эксперименте подобного типа [см.: J. P. Cedarholm and C. H. Townes, A New Experimental Test of Special Relativity, «Nature», Vol. CLXXXIV № 4696, 1959), pp. 1350—1351]. Они писали: «В эксперименте проводилось сравнение по частоте двух осцилляторов-мазеров. Пучки молекул аммиака были направлены в противоположные стороны, но параллельно предполагаемому направлению движения в эфире... При этом сравнении по частоте, где была достигнута точность 1 к 10^{12} , не удалось обнаружить изменения частоты, которое предсказывалось, исходя из допущения, что нижний предел скорости движения сквозь эфир столь мал, что составляет $1/1000$ орбитальной скорости Земли... Настоящий эксперимент устанавливает нижний предел скорости дрейфа относительно эфира равным примерно $1/50$ по сравнению с тем, который допускался предыдущими экспериментами».

² Следует упомянуть, что сами экспериментаторы Кеннеди и Торндайка понимали свой эксперимент не как доказатель-

Напомним, что в 1905 году не было экспериментального доказательства, недвусмысленно подтверждавшего постулат Эйнштейна, согласно которому свет является наиболее быстрым сигналом. Однако последующие эксперименты доказали, что масса и кинетическая энергия ускоряемых частиц становятся бесконечно большими, когда их скорость приближается к скорости света¹.

Следовательно, существует убедительное эмпирическое доказательство всех тезисов, составляющих принцип света. Однако ошибочно было бы предполагать, что экспериментальное подтверждение принципа света достаточно также и для доказательства преобразований Лоренца. Ибо эти уравнения подразумевают замедление хода часов, тогда как один только принцип света — нет. Поэтому неверно предполагать, что после подходящего выбора нулевого времени преобразования Лоренца можно вывести при помощи только принципа света и что, следовательно, все последующие утверждения релятивистской кинематики выводятся из принципа света. Ясное доказательство того, что релятивистское замедление часов логически не зависит от принципа света, было предложено Робертсоном². Он рассматривает линейное преобразование

$$T: (t', x', y', z') \rightarrow (t, x, y, z)$$

ство того, что я называю «аксиомой часов» в принципе света, а как проверку релятивистского замедления хода часов. Однако отрицательный результат опыта Кеннеди — Торндайка не может рассматриваться как доказательство *релятивистского* замедления хода часов, которое представляет собой взаимное или симметричное отношение между часами движущихся друг относительно друга инерциальных систем. Мы напомним читателю, на каких основаниях мы отрицаем в разделе Г интерпретацию, согласно которой нулевой результат опыта Кеннеди — Торндайка подтверждает гипотезу, что в теории эфира расширение времени действует совместно с $L - F$ -сокращением. Из анализа, проведенного в разделе Г, видно, что нулевой исход опыта Кеннеди — Торндайка имеет отношение не к взаимному *релятивистскому* замедлению хода часов, а к выдвигению *ad hoc* предположения о расширении времени в теории эфира, которое не является симметричным, или взаимным.

¹ См.: W. Gerlach, Handbuch der Physik, Berlin: Springer-Verlag, 1926, S. 61 ff., C. Møller, The Theory of Relativity, Chap. III.

² H. P. Robertson, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXI (1949), p. 378. Более раннее доказательство совместимости принципа света с *отрицанием* замедления хода часов было дано Рейхенбахом (см. «Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre», S. 79—83), который показал, что существует непротиворечивая система преобразований координат, удовлетворяющая обоим утверждениям.

между исходной инерциальной системой Σ и «движущейся» инерциальной системой S' . После получения (с помощью соглашений условий симметрии и точного определения скорости v системы S' относительно системы Σ) тринадцати точно установленных коэффициентов этих преобразований (из шестнадцати) Робертсон обращается к рассмотрению того, насколько экспериментально обосновано утверждение, что остающиеся три коэффициента имеют значения, устанавливаемые исходя из требований преобразований Лоренца. Затем он показывает, что эксперименты Майкельсона — Морли и Кеннеди — Торндайка, успешно завершившие подтверждение принципа света, недостаточны для установления остающихся трех коэффициентов преобразований, так что их значения определяются требованиями преобразований Лоренца. Недостающие экспериментальные данные предоставила работа Айвса и Стилуэлла (1938) по наблюдениям над каналовыми лучами, обладавшими большими скоростями. Одновременно эта работа подтвердила также и релятивистский («квадратичный») эффект Доплера¹, что составило первое экспериментальное доказательство замедления хода часов, которое вытекает из преобразований Лоренца. Дополнительное подтверждение было получено на основании данных о времени жизни мезонов².

Согласно специальной теории относительности, замедление хода часов испытывается всеми естественными часами, будь то вещественные часы, отсчитывающие астрономическое время, или атомные часы, подобные атомам цезия, единицы которых, по теоретическим предположениям, имеют инвариантное во времени отношение к астрономическим единицам. Однако это предположение о постоянном отношении атомных и астрономических единиц времени ставилось под сомнение Дираком, Милном, Иорданом и другими. Они высказывали мысль, что это отношение непрерывно возрастает на величину порядка $1/T$ в год, где T — «возраст вселенной» в годах. Если T равно примерно $4 \cdot 10^9$, то изменение в современную эпоху составляет величину примерно

¹ См.: M. v o n L a u e, Die Relativitätstheorie, S. 20.

² B. R o s s i and D. B. H a l l, «Physical Review», Vol. LIX (1941), p. 223. Доказательство того, что в рамках условий применимости специальной теории относительности релятивистское замедление не приводит к «парадоксу часов», см. в: A. G r ü n b a u m, The Clock Paradox in STR, «Philosophy of Science», Vol. XXI (1954), pp. 249—253; Vol. XXII (1955), pp. 53, 233.

порядка $1/10$. Изменения такого порядка, возможно, вскоре будут доступны измерению в течение интервала длительностью в несколько лет, поскольку Эссен и Пэрри из Национальной физической лаборатории Англии измерили недавно частоту естественных колебаний атома цезия с установленной точностью 1 к 10^9 и надеются достигнуть еще большей точности¹.

**Е. Разногласия между Эйнштейном
и его предшественниками — сторонниками
теории эфира и их значение для истории
специальной теории относительности
в трактовке Уайттекера**

Учитывая наше обсуждение в первой главе ньютоновской концепции метрики пространства и времени, будет вполне достаточно кратко заметить на этот счет, что теория эфира, которая является одной из версий теории Ньютона, подразумевает следующий тезис относительно системы эфира, находящегося в состоянии абсолютного покоя. Каждое вместилище, а именно пространство и время, имеет свою собственную, внутренне ему присущую метрику, которая существует совершенно независимо от наличия во вселенной материальных стержней и часов, то есть от устройств, функция которых *в лучшем случае* чисто познавательная. Эти устройства, случайные по отношению к пространству и времени, в которых они находятся, позволяют нам установить метрические отношения, внутренне присущие вместилищам — пространству и времени. Таким образом, например, даже в том случае, когда материальные часы идут равномерно, они только соответствуют временной метрике, но не «определяют» ее.

Осознание этого тезиса теории эфира позволит нам вкратце сформулировать точное утверждение относительно фундаментального *логического* различия между $L - F$ -сокращением теории эфира и *численно* равным ему релятивистским эйнштейновским сокращением движущегося стерж-

¹ L. Essen and J. V. L. P a r r y, «Nature», Vol. XXII (1955), p. 280, и комментарии Клеменса [ibid., p. 1230; «Science», Vol. CXXIII (1956), p. 571]. См. также: H. L y o n s, «Scientific American», Vol. CXCVI (February 1957), p. 71.

ня, которое выводится из интерпретируемых релятивистским образом преобразований Лоренца. Ясное описание логического различия между $L-F$ -сокращением и эйнштейновским сокращением имеет особенно важное значение, поскольку эти сокращения часто сопоставляются друг с другом. Так, нам говорят, что вместо того, чтобы попытаться объяснить нулевой результат опыта Майкельсона — Морли с помощью придуманной ad hoc гипотезы $L-F$ -сокращения, Эйнштейн *объясняет* исход эксперимента, логически выводя сокращение из преобразований Лоренца. Так, недавно Полтер, рассуждая о кинематических результатах специальной теории относительности, приписал Эйнштейну следующее объяснение исхода опыта Майкельсона — Морли: «Сокращение жестких стержней было, конечно, подтверждено опытом Майкельсона — Морли и бесчисленным множеством последующих экспериментов по обнаружению движения в эфире»¹. Однако, как это видно из нашей оценки тезиса, входящего в принцип света, которая была дана в разделе Г, Эйнштейн вовсе не пытался объяснять результат опыта Майкельсона — Морли как нетривиальное следствие каких-то более фундаментальных принципов. Напротив, он вводил нулевой результат этого эксперимента в качестве физической аксиомы в свой принцип света, который был *предпосылкой* для выведения им преобразований Лоренца.

Если посмотреть еще глубже, то, согласно ошибочной точке зрения, которая считает, что релятивистский вывод Эйнштейна о сокращении следует из относительности одновременности, являющейся составной частью преобразований Лоренца, справедливость нулевого исхода опыта Майкельсона — Морли объясняется на основе численного равенства коэффициентов эйнштейновского релятивистского сокращения и $L-F$ -сокращения теории эфира (величина этих коэффициентов в обоих случаях равна $\sqrt{1-\beta^2}$). Однако логический характер этих сокращений имеет коренные различия, потому что $L-F$ -сокращение происходит по отношению к той самой системе, в которой сокращающееся плечо интерферометра находится *в состоянии покоя*, тогда как сокращение, которое Эйнштейн выводит из преобразований Лоренца, относится к длине, измеренной в системе, где плечо интерферометра находится *в состоянии движения*.

¹ R. M. P a l t e r, Whitehead's Philosophy of Science, Chicago: University of Chicago Press, 1960, p. 13.

Точнее, гипотеза сокращения Лоренца — Фицджеральда настаивает на сравнении реальной длины плеча, измеряемой временем прохождения светом пути туда-обратно, с большей длиной, которая была бы обнаружена с помощью времени, затраченного на прохождение пути туда-обратно, если бы классическая теория эфира была справедливой. Таким образом, используя при сравнении свет в качестве стандарта, эта гипотеза утверждает, что в той же самой системе и при тех же самых условиях измерения метрические свойства плеча интерферометра отличаются от свойств, которые предсказываются классической теорией эфира. И это различие, или сокращение, совершенно очевидно не зависит от какого-либо сокращения, основанного на сравнении длин в различных инерциальных системах. Напротив, сокращение, которое Эйнштейн выводит из преобразований Лоренца, основывается на сравнении длин стержней, измеряемых с точки зрения инерциальной системы, относительно которой стержень находится в состоянии движения, учитывая длину стержня в системе, относительно которой стержень находится в состоянии покоя.

В отличие от $L - F$ -сокращения, но подобно релятивистскому замедлению хода часов это «эйнштейново сокращение» является *симметричным*, или взаимным, отношением между измерениями, проведенными в любых двух инерциальных системах, и является следствием между-системной относительности одновременности, поскольку здесь соотносятся длины, определенные с *различных* инерциальных перспектив измерения, а не противоположные друг другу утверждения относительно результатов, полученных при одних и тех же условиях измерения.

Поэтому то, что объяснил Эйнштейн, является сокращением «при измерении», то есть явлением, которое не предлагает больших логических трудностей, чем различие в угловых размерах тел, рассматриваемых с разных состояний.

Чтобы не подумали, что смешение двух видов сокращения, которое обсуждалось сейчас, является делом прошлого, мы приведем следующее утверждение из «Тарнеровской лекции» Уайттекера:

Преобразования Лоренца... дают как раз объяснение... сокращению Фицджеральда... Неудача всех попыток определить скорость с помощью сравнения сокращений Фицджеральда в стержнях, направленных параллельно и перпендикулярно движению

Земли... с необходимостью вытекает из постулата относительности. Однако не существует никакой невозможности, в принципе по крайней мере, наблюдать сокращение, которое имеет место в том случае, если мы можем использовать наблюдательный пост, расположенный *вне* движущейся системы¹ (курсив мой.— А. Г.).

Конечно, если бы было выполнено условие Уайттекера относительно наблюдательного поста в системе эфира вне движущейся Земли, тогда наблюдатель, находящийся на этом посту, который интерпретировал бы свои данные с дорелятивистской точки зрения, утверждал бы, что имеется сокращение Лоренца — Фицджеральда, выражающееся в том, что найденная «истинная» длина движущегося плеча интерферометра, которую, как он полагает, наблюдает со своей преимущественной точки зрения, является меньшей, чем «ложная» длина, измеряемая земным наблюдателем с помощью стержня. Однако релятивистское объяснение численно равного эйнштейнова сокращения на самом деле подразумевает здесь *отказ*, как мы это подробно покажем, именно от тех концепций, которые только и могут придать смысл а) истолкованию данных, полученных вземным наблюдателем, как *эквивалентных* сокращению *в рамках* движущейся системы в смысле Лоренца и Фицджеральда, и б) постановке вопроса в рамках специальной теории относительности в духе Уайттекера, почему имеется $L - F$ -сокращение в рамках движущейся системы. И релятивистский дедуктивный вывод эйнштейнова сокращения из преобразований Лоренца вообще может поэтому не иметь никакого отношения, в смысле Уайттекера, к вопросу, почему опыт Майкельсона — Морли потерпел неудачу в подтверждении предсказаний классической теории эфира.

Мы видим, что месторасположение философского различия между Лоренцом и Эйнштейном теми, кто ссылается на эйнштейновское объяснение нулевого результата в опыте Майкельсона — Морли, указывается неверно. Чтобы понять философское новаторство Эйнштейна, мы должны обратить внимание на то, что гипотеза о $L - F$ -сокращении не была

¹ E. T. Whittaker, *From Euclid to Eddington*, London: Cambridge University Press, 1949, pp. 63—64. Та же самая ошибка повторяется Уайттекером в его «Истории теорий эфира и электричества» (т. II, стр. 37), которую следует читать в связи с его статьей «Дж. Фицджеральд» [*Scientific American*, Vol. CLXXXIX (November 1953), p. 98].

просто добавкой к теории эфира, сделанной Лоренцом для получения приемлемого объяснения экспериментальных данных. Кроме того, он был вынужден постулировать совместно с Лармором, что как стержни испытывают сокращение в любой инерциальной системе, движущейся относительно эфира, так и часы по причине того же самого движения изменяют скорость своего хода и показывают «ложное» местное время (отличное от «истинного», которое показывают часы в системе эфира). Концептуальная система лоренцевой интерпретации уравнений преобразования, названных его именем, была абсолютистской, ибо в ней часы и стержни даже в привилегированной системе эфира только *соответствовали* метрике вместилища — пространства и времени, но не «определяли» ее. Поэтому Лоренц пришел примерно к следующим выводам.

1) Поскольку горизонтальное плечо интерферометра в опыте Майкельсона — Морли короче, чем стержень, приложенный к нему, то в соответствии с ожиданиями классической оптики и ее теории пространства-вместилища мы должны сделать вывод, что, когда стержень, эталонный в системе эфира, переносится в движущуюся систему, он не может более рассматриваться как эталон, а становится короче, чем эталон длины в движущейся системе. Это же имеет силу и в отношении часов.

2) Отклонение часов и стержней от ожидаемого поведения, исходя из классической физики, должно иметь свою причину в том смысле, что оно обязано своим существованием возмущающему влиянию. Ибо при отсутствии такой причины поведение, которое ожидается с классической точки зрения, было бы самопроизвольным.

Эйнштейн оставил преобразования Лоренца формально неизменными. Однако рассуждения, которые легли в основу его радикальной переинтерпретации их физического смысла, опирались на реляционную концепцию пространства и времени, которая обсуждалась нами в первой главе. Согласно этой реляционной концепции пространства, длина тела AB является атрибутом отношения между двумя парами точек: крайними точками AB , с одной стороны, и такими же точками выбранного эталонного стержня — с другой.

Точно так же величина временного интервала является отношением этого интервала к эталону, определяемому некоторым периодическим физическим процессом. И этому определению длины как отношению свойственно то, что

эталонный стержень должен во время выполнения им своей метрической функции¹ находиться в состоянии покоя относительно AB . Однако, согласно этой реляционной концепции длины, нельзя утверждать совместно с Лоренцом, что эталонный стержень в системе эфира *фактически* не будет больше эталоном с *физической точки зрения*; раз он переносится в движущуюся систему, такой перенос приводит к ложным «местным» показаниям часов в движущейся

¹ Совершенно ясно, что отношения, или реляционные свойства, физических объектов (которые численно выражаются как математические отношения) полностью объективны в физическом смысле и существуют совершенно независимо от человеческого сознания как свойства индивидуальных объектов. Таким образом, отношение между медным прутом, который покоится в системе K , и эталонным стержнем в этой же системе K может обладать тем свойством, что медный пруток имеет длину, равную 5 единицам в K . Однако другое отношение проекции этого прута на ось x в системе S , относительно которой он движется вдоль этой оси, к эталонному стержню системы S может дать длину, равную только 4,7 единицам. Неоспоримо, что различие отношений, испытываемых прутом, не делает эти отношения субъективными продуктами сознания физика в такой же мере, как не делает медный пруток немым. В своей тщетной попытке защитить идеалистическую (mentalistic) метафизику на основе теории относительности Герберт Дингл отрицает этот факт. Отвечая на убедительную критику его взглядов Эпштейном [«American Journal of Physics», Vol. X (1942), pp. 1 and 205; Vol. XI (1943), p. 228] и М.Борном [«Philosophical Quarterly», Vol. III (1953), p. 139], Дингл выдвигает следующую аргументацию: «Точка зрения, согласно которой физика является описанием характера независимого внешнего мира, оказалась просто несостоятельной. Каждый релятивист признает, что если два стержня A и B , длина которых равна, когда они покоятся, находятся в состоянии относительного движения вдоль общего для них направления, то A будет или длиннее, или короче чем B , или равным ему, то есть будет именно таким, как вы пожелаете. Поэтому невозможно избежать вывода, что длина не есть свойство какого-либо стержня, и то, что истинно для длины, истинно также и для любого другого так называемого физического свойства. Поэтому физика (sic!) не является исследованием природы внешнего мира» [«The Sources of Eddington's Philosophy», London: Cambridge University Press, 1954, pp. 11—12].

Отнюдь не доказав, что релятивистская физика является субъективной, профессор Дингл добился успеха только в том, что продемонстрировал незнание того, что реляционные свойства не перестают быть *bona fide* объективными свойствами именно потому, что они подразумевают отношения между индивидуумами, а не принадлежат непосредственно самим индивидуумам. Только неосведомленность на этот счет могла привести его к примитивному тезису, согласно которому отношения физических сущностей друг к другу не могут выражать «характер независимого внешнего мира».

системе. Ибо реляционная концепция позволяет нам назвать, по определению, самый стержень эталоном в движущейся системе, что также имеет силу и в отношении единиц времени, отсчитываемых часами, покоящимися в движущейся системе. Если бы Лоренц ясно представлял себе, что длина этого стержня в движущейся системе может быть совершенно законным образом *декретирована*, по определению, как эталон и что то же самое возможно и по отношению к материальным часам, тогда для него было бы ясно, что выбивается почва из-под проводимого им различия между «истинными» (реальными) и «локальными» (то есть ложными, или кажущимися) длинами и временами, а тем самым и из-под его идеи о том, что горизонтальное плечо интерферометра в опыте Майкельсона — Морли на самом деле короче вертикального. Таким образом, соединение эпистемологической интуиции реляционной теории длины с экспериментальными данными оптики полностью лишает объективного значения ссылку на преимущественную систему эфира и делает возможным формулирование принципа относительности.

Мы можем понять отказ Эйнштейна от второго шага в рассуждениях Лоренца, если покажем, почему Лоренц обратился к поискам причин сокращения, обнаруженного в опыте Майкельсона — Морли.

Любая физическая теория говорит нам, какое индивидуальное частное поведение физических сущностей или систем она считает «естественным» при отсутствии каких-либо видов *возмущающих* влияний, которые она рассматривает.

Одновременно с этим точно определяются влияния или причины, которые рассматриваются в этой теории как ответственные за какое-либо отклонение от того поведения, которое предполагается «естественным». Однако, когда такие отклонения наблюдаются, а теория не может сказать, какими возмущениями они вызваны, то в таком случае ее предположения относительно характера «естественного», или невозмущаемого, поведения становятся сомнительными. Ибо надежность наших концепций относительно того, какая система событий является естественной, не более велика, чем *сфера* доказательств, на которых они покоятся. И неспособность теории определить причины возмущений, которые привели к тому, что ее ожидания оказались невыполненными, требует поэтому признания возможности,

что, во-первых, «естественное» поведение вещей на самом деле отличается от того, которое предполагалось рассматриваемой теорией, а во-вторых, что отклонение от поведения, предполагаемого естественным, обнаруживается без наличия каких-либо возмущающих причин того типа, который первоначально предусматривался теорией.

Некоторые примеры из прошлых и современных научных споров свидетельствуют об ошибочных поисках первоначально предусматриваемых возмущающих факторов, которые, как предполагалось, должны были вызывать отклонения от того хода событий, который та или иная частная теория без сомнений и упорно рассматривала как естественный. Так, сторонники Аристотеля критиковали Галилея, предполагая, что механика Аристотеля описывает естественное поведение. Они требовали от Галилея указать причину, которая не позволяет телу стремиться к состоянию покоя и обуславливает сохранение скорости в одном и том же направлении, как об этом говорится в первом законе движения Ньютона. Для них было аксиомой, что равномерное движение не может продолжаться бесконечно при отсутствии системы внешних сил. В наше время находятся люди, которые задают вопрос: если «новая космология» Бонди и Голда является верной, то не следует ли отсюда наличие божественного вмешательства (возмущения) в порядок природы, которым обуславливалось бы самопроизвольное приращение (творение) материи? ¹ Однако те, кто ставит этот вопрос, не говорят нам, на каком основании они считают доказанным, что *космически* естественным состоянием тел является абсолютное отсутствие какого-либо приращения материи, пусть даже в очень небольших количествах и очень медленно. Довольно странно, что некоторые теологи пытаются убедить нас в том, что состояние «ничто» (что бы оно ни означало) следует рассматривать как естественное состояние вселенной, и тем самым создается основа для утверждения, что

¹ Логическая слепота, которая порождает этот вопрос, но в обратном отношении, была проявлена и Динглом. Одна из причин отрицания им космологии Бонди и Голда состояла в том, что эта космология ясно требовала не только единичного акта чудотворного божественного вмешательства в виде библейского творения ex nihilo, но непрерывной серии таких актов. См.: A. G. G. и п. b а и т, «Scientific American», Vol. CLXXXIX (December 1953), pp. 6—8.

уже одно только существование и сохранение материи или энергии требует божественного творца и охранителя. Предположим, однако, что физический мир на самом деле является трехмерным расширяющимся физическим пространством, радиус кривизны которого имеет в какое-то время минимальное значение, и что этот момент времени был подлинным началом, потому что ему не предшествовало никакое сокращение, и по отношению к которому современное расширение представляет собой как бы «эластичную» отдачу. Тогда в рамках этой теории расширяющейся вселенной *каждая* фаза этого процесса расширения должна рассматриваться как неотъемлемая часть *естественного* поведения вселенной. В таком случае начало расширения не дает никакого доказательства в пользу действий божественного творца как возмущающей причины, равно как и любая фаза процесса расширения. Ибо нет абсолютно никакого логически жизнеспособного критерия для установления различия между теми недавно наблюдаемыми или выведенными фактами, которые просто вынуждают пересмотреть первоначальные обобщения и которые рассматриваются сторонником божественного творения как часть «естественного порядка», и теми, которые он безосновательно относит к статусу быть «вне естественного порядка» и которые поэтому обязаны своим существованием божественному вмешательству в этот порядок. Как видим, теологическое понятие чуда приписывает сверхъестественное происхождение определенным феноменам, опираясь на необоснованную декларацию, что некоторая система ограниченных эмпирических обобщений, которая не разрешает эти явления, *уверенно* определяет, что является естественным, как если бы наблюдаемые события сами представлялись нам с этикеткой, удостоверяющей их «естественность»! ¹

Основа философского возражения Эйнштейна против второго шага в рассуждениях Лоренца теперь у нас под руками: ошибка Лоренца состояла в том, что он перед лицом растущих противоречащих доказательств настаивал на необходимости рассматривать классически ожидаемое поведение как естественное. Именно эта настойчивость побудила его объяснить наблюдаемые отклонения от клас-

¹ Более подробно об этом см. в: A. G r ü n b a u m, «Scientific Monthly», Vol. LXXIX (1954), pp. 15—16.

сических законов, постулируя, что причиной, вызывающей эти отклонения, является воздействие эфира, который нельзя обнаружить физическими способами. Используя реляционную теорию длины и времени для отрицания выводов из первого шага в рассуждениях Лоренца, Эйнштейн сумел понять, что для объяснения неожиданных результатов опыта Майкельсона — Морли не нужно никаких возмущающих причин вроде тех, которые предполагались в теории эфира, поскольку они представляют собой неотъемлемую сторону «естественного» поведения вещей. Это не означает, что если в системе понятий специальной теории относительности поведение частиц и света аксиоматически рассматривается как «естественное», иначе говоря, как не вызванное никакими возмущениями, то нельзя считать, что оно не требует объяснений путем ссылки на возмущающие причины в контексте более широкой (или более глубокой) теории, такой, например, как общая теория относительности.

Характер и значение этого фундаментального философского различия между эйнштейновской концепцией преобразований Лоренца, с одной стороны, и более ранними версиями интерпретации этих преобразований его предшественниками Фицджеральдом, Лармором, Пуанкаре и Лоренцом — с другой, совершенно не признается Уайттекером в его оценке истории развития специальной теории относительности. Его оценка истории специальной теории относительности в монументальной «Истории теорий эфира и электричества» дает выразительную иллюстрацию того, как ошибочные философские концепции могут привести, как это ни печально, к ошибочной исторической оценке концептуального вклада новатора по отношению к вкладу его предшественников. В частности, правильное философское истолкование того, как Эйнштейн понимал пространственные и временные координаты в преобразованиях Лоренца, могло бы предотвратить необоснованную оценку Уайттекером того вклада, который был сделан в специальную теорию относительности Лоренцом, Пуанкаре, Фицджеральдом, Лармором и Фохтом, причем в свете этой завышенной оценки его пренебрежительное отношение к роли Эйнштейна выглядит убедительным.

Назвав главу, повествующую о развитии специальной теории относительности, «Теория относительности Пуанкаре и Лоренца», Уайттекер дает следующую принижающую

характеристику роли, которую сыграл Эйнштейн в создании специальной теории относительности: «Осенью того же года (1905)... Эйнштейн опубликовал статью, в которой излагалась теория относительности Пуанкаре и Лоренца в несколько расширенном виде и которая привлекла к себе всеобщее внимание... В этой статье Эйнштейн изложил модификации, которые должны были быть введены в формулы для аберрации и Допплер-эффекта»¹. Правдоподобие этой исторической оценки степени оригинальности и величины вклада Эйнштейна в развитие специальной теории относительности вытекает из *ошибочной в философском отношении* концепции Уайттекера относительно эйнштейновской интерпретации *преобразований* Лоренца (хотя, возможно, вовсе не она явилась причиной этой оценки). Так, Уайттекер допускает две вопиющие логические ошибки. Он не смог понять, что Эйнштейн отвергает различие, которое проводилось Лоренцом — Лармором — Пуанкаре между «истинными», или «реальными», и «ложными» (кажущимися, локальными) временами и длинами, но именно это как раз показывает гениальность Эйнштейна, который совершил в этом отношении подлинно теоретическую революцию. И он не делает вообще никаких допущений, что существует решающее логическое различие между логикой доэйнштейновской и эйнштейновской концепций относительно статуса любого наблюдаемого извне Земли сокращения стержня, движущегося вместе с Землей и проиходящего в направлении этого движения.

Только философское осознание того факта, что эйнштейновская концепция преобразований Лоренца шла отнюдь не в том направлении, куда стремились модификации теории эфира Лоренца и Пуанкаре, позволит нам понять, в чем ошибочность исторической трактовки специальной теории относительности Уайттекером.

¹ E. T. Whittaker, A History of the Theories of Aether and Electricity, Vol. II, p. 40. Уайттекер сам отмечает (стр. 36), что даже перед своей смертью в 1928 году Лоренц, как говорят, все еще благосклонно относился к понятиям «истинного» времени и абсолютной одновременности. Краткое утверждение на этот счет самого Лоренца см. в: «The Theory of Electrons» (New York: Columbia University, 1909, pp. 329—330). Относительно же роли, которую сыграли Лоренц и Пуанкаре как предшественники Эйнштейна, фон Лауэ привел доказательства («Naturwissenschaften», Bd. XLIII (1956), S. 4), что Эйнштейн не знал об их фундаментальных работах по теории относительности.

ФИЛОСОФСКАЯ ОЦЕНКА АЛЬТЕРНАТИВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА,
ПРЕДЛОЖЕННОЙ МИЛНОМ

Милн, о двух логарифмически соотносящихся шкалах t и τ которого упоминалось в разделе В первой главы, попытался установить обычную пространственно-временную структуру специальной теории относительности на основе кинематики световых сигналов, используемых частицами-наблюдателями, имея целью обойтись без жестких стержней и изохронных материальных часов¹. В своей книге «Современная космология и христианская идея бога» Милн начинает дискуссию² о времени и пространстве с обвинения Эйнштейна в том, что тот якобы не смог ясно представить себе, что понятие жесткого тела как тела, длина которого, характерная для состояния покоя, остается инвариантной при перемещениях, в такой же степени, как и понятие метрической одновременности на расстоянии содержит конвенциональный ингредиент³. Затем Милн предлагает усовершенствовать критерий пространственной конгруэнтности, опирающийся на понятие жесткого тела, исходя из действий, подобных поиску при помощи радара, измеряя при этом время, которое необходимо свету, чтобы пройти путь туда-обратно по соответствующему замкнутому пути не с помощью материальных часов, а при-

¹ E. A. Milne, Kinematic Relativity; его же: «Modern Cosmology and the Christian Idea of God».

² Ibid., Chap. iii.

³ То, что Эйнштейну хорошо была известна эта тонкость, очевидно из его определения «практически жесткого тела» в «Геометрии и опыте» (см. «Собрание научных трудов», т. II, стр. 85 и сл.).

мерно следующим образом¹. Каждая частица снабжается установкой для упорядочения связанных с ней генетически тождественных событий во временной линейный континуум Кантора. Такая установка называется «часами», а одиночный наблюдатель, находящийся на частице, использующей такие локальные часы, называется частицей-наблюдателем. Если теперь A и B являются двумя частицами-наблюдателями и световые сигналы посылаются от одного к другому, то время \bar{t}' прибытия сигнала в B может быть выражено в виде функции $\bar{t}' = f(t)$ времени t излучения его из A и точно так же время t' прибытия сигнала в A есть функция $t' = F(\bar{t})$ от времени \bar{t} его излучения из B . Об определенных подобным образом частицах-наблюдателях, экипированных часами, говорят, что они «эквивалентны», если так называемые сигнальные функции f и F одни и те же, а о часах эквивалентных частиц-наблюдателей говорят, что они *конгруэнтны*. Можно показать, что если A и B не эквивалентны, тогда часы частицы B следует переградуировать с помощью преобразований,² имеющих вид $\bar{t}' = \Psi(\bar{t})$ с тем, чтобы сделать их эквивалентными². Конечно, конгруэнтность часов в A и B еще не обеспечивает их синхронности. Далее, Милн использует эйнштейновское определение одновременности³: время t_2 , приписываемое наблюдателем A моменту прибытия в B светового сигнала, который был излучен в момент t_1 в A и возвратился в A в момент t_3 , после мгновенного отражения в B должно быть определено по формуле

$$t_2 = 1/2 (t_1 + t_3).$$

И он определяет расстояние r_2 до B после прибытия света из A в B с помощью часов A ; это расстояние выражается соотношением

$$r_2 = 1/2 c (t_3 - t_1),$$

¹ Более подробное изложение кинематики световых сигналов Милна см. в: A. G. Walker, *Axioms for Cosmology*, в: L. Henkin, P. Suppes, and A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1959, pp. 309—310; L. Page and N. I. Adams, *Electrodynamics*, New York: D. Van Nostrand, Co., 1940, pp. 78—85.

² E. A. Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, pp. 39—41.

³ *Ibid.*, p. 42.

где c — произвольно выбранная константа ¹. Поскольку

$$\frac{r_2}{t_2 - t_1} - \frac{r_2}{t_3 - t_2} = c,$$

константа c представляет собой скорость светового сигнала, устанавливаемую из соглашений, которые принимаются A для измерения расстояний и времени в отдаленной точке B . Милн следующим образом излагает свои эпистемологические возражения против использования Эйнштейном жестких стержней. При этом он претендует на то, что предлагаемая им кинематика световых сигналов с философской точки зрения является удовлетворительной альтернативой.

Понятие транспортировки жесткого тела или жесткой меры длины само по себе неопределимо. Исходя из данного стандартного метра, мы не можем сказать, что мы имеем в виду, задавая вопрос, останется ли данная «жесткая» мера длины «неизменной по своей величине», когда мы передвигаем ее с одного места на другое, ибо мы в этом новом месте не имеем никакого стандарта. Опять же нам нужно было бы определить стандарты «покоя» повсюду, ибо без обсуждения неясно, останется ли «длина» неизменной в одном и том же месте при различных скоростях. Когда о каком-то теле или измерительном стержне говорят, что он является жестким, это еще не означает, что мы даем какую-то дефиницию, ибо здесь не определяется никакой «операциональной» процедуры для проверки, остается ли той же самой данная мера длины после транспортировки или после изменения скорости... ²

Отчасти мы обязаны Эйнштейну пониманием того, что в науке имеют значение только «операциональные» определения... Эйнштейн полностью придерживался данной методики, когда анализировал неопределенное понятие одновременности, заменив его проверкой с помощью измерений, которые реально используются для установления одновременности двух удаленных друг от друга событий. Но он отказался от этой процедуры, когда оставил неопределимым понятие длины «жесткого» тела, то есть понятие длины, не меняющейся при перемещении. Эти два неопределенных понятия транспортабельного жесткого тела и одновременности покоятся на одном и том же фундаменте. Если не проделан соответствующий анализ и не доказано, что эти понятия эквивалентны соглашениям, они представляют собой сгустки тумана, затрудняющие дальнейшее рассмотрение ³.

Одной из наших главных задач будет разъяснение способа градуировки, которым наносятся деления на наши обычные часы;

¹ E. A. Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, p. 42.

² *Ibid.*, p. 35.

³ *Ibid.*

то есть нужно будет исследовать, что означает однородное время и, если это возможно, выяснить, что обычно понимается под этим. Иными словами, мы хотим исследовать, какой из множества произвольных способов, с помощью которых замаркированы наши абстрактные часы, можно идентифицировать с «однородным временем» физики...¹

Теперь возникает вопрос: можно ли условиться так, чтобы способ градуировки часов наблюдателем *B* соответствовал способу градуировки часов наблюдателем *A* с тем, чтобы приобрело смысл высказывание о том, что часы *B* являются копией часов *A*? Если это возможно, то мы скажем, что часы *B* стали конгруэнтными часам *A*...²

Нужно будет отметить, что мы достигли успеха в изготовлении часов *B* как копии часов *A*, не приводя *B* в долговременное совпадение с *A*. Мы на расстоянии изготовили копию каких-то произвольных часов. Это есть нечто такое, чего мы не можем проделать с метровыми масштабами или другими мерами длины. Проблема получения копии часов в принципе проще, чем проблема копирования единицы длины. В свое время мы увидим, что с построением копии часов на расстоянии мы решили проблему сравнения длин...³

Важно то, что период времени и расстояние (которые мы называем координатами) являются чисто конвенциональными конструкциями и имеют смысл только по отношению к частной форме градуировки часов... Однако следует указать, что, когда метод градуировки часов подобен тому, который употребляется для обычных часов, применяющихся в физических лабораториях, наши соглашения о координатах приводят к таким мерам периодов и расстояний, которые совпадают с периодами и расстояниями, основывающимися на стандартном метре...⁴

Причина того, почему более фундаментальным является использование только часов, а не часов и масштабов или только масштабов, состоит в том, что понятие часов является более элементарным, чем понятие масштаба. Понятие часов связано с понятием «два момента времени в одном и том же месте», тогда как понятие масштаба связано с понятием «два места в одно и то же время». Однако понятие «два места в одно и то же время» включает в себя соглашение об одновременности, а именно об одновременных событиях в двух местах, тогда как понятие «два момента времени в одном и том же месте» не подразумевает никакой конвенции, оно подразумевает только существование некоторого *ego*...⁵

¹ E. A. Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, p. 37.

² *Ibid.*, p. 39.

³ *Ibid.*, p. 41.

⁴ *Ibid.*, pp. 42—43.

⁵ *Ibid.*, p. 46.

Длина имеет столь же конвенциональное значение, как и период времени на расстоянии. Так что метрическая шкала не является таким фундаментальным инструментом, каким являются часы. Во-первых, ее длина для *любого* наблюдателя, измеренная с помощью метода радара, зависит от часов, которыми пользуется наблюдатель, и, во-вторых, разные наблюдатели приписывают ей (метрической шкале) различные длины даже в том случае, если их часы конгруэнтны, и это обусловлено тем, что проверка одновременно является конвенциональной, часы же, коль скоро они проградуированы, дают периоды сами по себе, не зависящие от соглашения.

Раз мы установили часы, проградуированные произвольным образом, расстояния для наблюдателей, пользующихся этими часами, становятся определенными. Если стержень движется из одного места, где он находился в состоянии покоя относительно данного наблюдателя, в другое место, где он также находится затем в состоянии покоя относительно этого же наблюдателя, и если этот стержень обладает в обоих этих положениях одинаковой длиной, которая измеряется этим наблюдателем, использующим свои часы, проградуированные таким образом, тогда об этом стержне говорят, что по этим часам он ведет себя при перемещении как жесткое тело. Таким образом, раз мы берем за исходное часы, перемещение жесткого стержня становится определенным. Однако до тех пор, пока у нас нет часов, мы ничего не можем сказать, что мы имеем в виду, когда говорим о перемещении жесткого стержня¹.

Если Милн собирается подкрепить свою критику Эйнштейна установлением пространственно-временной структуры специальной теории относительности на альтернативных эпистемологических предпосылках, он обязан сформулировать понятие инерциальной системы на основе своей кинематики световых сигналов, а также понятие меры длины и времени, которые предписываются кинематикой специальной теории относительности. Это значит, он должен суметь охарактеризовать инерциальную систему *в рамках* своей эпистемологической программы как некую компактную группу эквивалентных наблюдателей-частиц, наполняющих пространство таким образом, что каждая частица-наблюдатель находится в покое по отношению к каждой другой и синхронна с ней. Мы уже видели, что обвинение Эйнштейна в непонимании конвенционального характера пространственной конгруэнтности, «определяемой» жесткими стержнями, является абсолютно неверным. Однако, и это более важно, Милн ошибается, когда считает, что ему якобы удалось восстановить кинематику специальной теории относительности, исходя из эпистемологически

¹ Ibid., pp. 47—48.

более удовлетворительных предпосылок, чем это сделал Эйнштейн. Это очевидно из¹ результата, полученного Уайтом¹, который доказал, что, пользуясь только световыми сигналами и понятием временной последовательности, не прибегая к помощи жестких стержней или изохронных материальных часов, *нельзя* получить обычные меры длины и времени. Ибо «физик, пользуясь только световыми сигналами, не может провести различие между инерциальными системами и системами, подчиняющимися произвольным 4-D (четырёхмерным) преобразованиям подобия². Система «покоящихся» точечных масс, которую можно идентифицировать таким образом, могла бы растягиваться и/или сжиматься относительно стержня, и эти излишние преобразования могут быть устранены с помощью стержня или часов»³.

Результат, полученный Уайтом, знаменателен в двух отношениях:

во-первых, если Милн обходится без материальных часов и основывает свою хронометрию только на конгруэнтности, которая обеспечивается его «часами — световыми сигналами», он не может получить инерциальной системы, не вводя жестких стержней. Жесткий стержень *не* нужен для определения *пространственной конгруэнтности* в рамках системы, но он *необходим* для обеспечения того, чтобы расстояние между двумя точками, связанными им *в один момент времени* t_0 , осталось таким же и в *некоторый более поздний момент времени* t_1 . Иными словами, стержень является жестким в данном месте, если он остается конгруэнтным самому себе (по соглашению) с течением времени. И в этом смысле стержень гарантирует постоянное со временем расстояние между двумя данными точками, которые он связывает между собой. Эта ссылка на жесткий стержень подразумевает, таким образом, определение одновременности. Следовательно, если Милн прав в своем обвинении, что использование жесткого стержня приводит к затруднениям философского характера, тогда он, конечно, несет

¹ L. L. Whyte, Light Signal Kinematics, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. IV (1953), pp. 160—161.

² Краткую оценку преобразований подобия и более ясное изложение точки зрения Уайта см. в: H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, pp. 172—173.

³ L. L. Whyte, Light Signal Kinematics, p. 161.

не меньшую ответственность, чем Эйнштейн. Предположим, однако, что

во-вторых, Милн пользуется материальными часами для того, чтобы определить временную метрику в некоторой точке пространства и тем самым конкретизировать свою градуировку часов, делая ее пригодной для элиминирования нежелательных систем отсчета, описанных Уайтом. Эта процедура довольно далека от его чисто топологических часов, которые «подразумевают только существование некоторого его»¹ в отличие от жестких масштабов, подразумевающих определение одновременности. И в этом случае его измерения равенства пространственных интервалов посредством равенства соответствующих временных интервалов, необходимых свету для прохождения пути туда-обратно, подразумевает следующие соглашения: а) молчаливо предполагается использование определения одновременности не совпадающих в пространстве событий. Ибо хотя само установление времени, необходимого свету для прохождения пути туда-обратно по данным часам, не требует такого критерия одновременности, однако оно необходимо при измерении расстояния в инерциальной системе с помощью этих часов: расстояние, определяемое по часам A временем, необходимым свету для прохождения пути туда-обратно, представляет собой расстояние r_2 между A и B в момент времени t_2 по часам A , когда световой импульс из A прибывает в B на своем пути туда-обратно ABA , б) последовательно равные разности в показаниях данных локальных часов являются, по условию, мерами равенства временных интервалов и тем самым равенства пространственных интервалов, и в) равные разности на отдаленных друг от друга часах идентичной конструкции объявляются мерами равных временных интервалов и тем самым равных пространственных интервалов.

Какие же тогда доводы может привести Милн против Эйнштейна, и может ли он их вообще привести? Из нашего анализа, по-видимому, ясно, что единственное критическое замечание, которое можно оправдать, является не эпистемологическим, а относится к такому безобидному пункту, как наличие более экономной аксиоматики; если вы гарантируете Милну материальные часы, то он вообще не потре-

¹ E. A. Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, p. 46.

бует жестких стержней, тогда как определение пространственной конгруэнтности, которым пользуется Эйнштейн, помимо соглашений, необходимых с точки зрения Милна, основывается еще и на жестких стержнях. Таким образом, кинематика Милна, дополненная применением материальных часов, строится на несколько более узкой базе соглашений, чем кинематика Эйнштейна.

В четвертой главе мы говорили, что если измерения пространственных и временных протяженностей должны производиться с помощью жестких стержней и материальных часов, то необходимо сделать некоторые допущения вычислительного характера относительно термических и других возмущений с тем, чтобы можно было определять их жесткость и изохронность. Обращая внимание на этот факт и полагая, что кинематика световых сигналов Милна, по существу, является удачной, Пейдж считает, что построения Милна более адекватны, чем Эйнштейна, заявляя при этом:

первоначальная формулировка теории относительности основывалась на неопределенных понятиях пространственных и временных интервалов, которые нельзя было определенным образом идентифицировать с действительными наблюдениями. Недавно Милн показал, как обеспечить желаемые критерии [жесткости и изохронизма], установив структуру пространства-времени на основании постоянной скорости светового сигнала¹.

В свете нашей оценки кинематики Милна становится очевидным, что утверждение Пейджа оказывается несостоятельным из-за того, что Милну необходимы, как уже говорилось, жесткие стержни или материальные часы.

Следует отметить, однако, как указал мне профессор Уолкер, что если построения Милна интерпретировать применительно *не* к кинематике специальной теории относительности, а к его собственной космологической модели мира, то наши критические замечания оказываются неуместными. Исходя из его логарифмического соотношения между временными шкалами τ и t получается, что после измерения расстояний с помощью указанного хронометрического соглашения галактики находятся в состоянии относительного покоя по τ -шкале кинематики и в состоянии равно-

¹ L. Page and N. I. Adams, *Electrodynamics*, pp. 78—79

мерного относительного движения по t -шкале. Каждая из этих временных шкал является уникальной вплоть до тривиального изменения единиц, и связанные с ними описания космологического мира эквивалентны в смысле Рейхенбаха. Поэтому в данной *космологической* ситуации не возникает проблемы элиминирования излишних преобразований, упомянутой Уайтом.

ОТВЕРГАЕТ ЛИ ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ АБСОЛЮТНОЕ ПРОСТРАНСТВО?

В литературе последних десятилетий по философии и истории науки получил широкое распространение миф относительно дискуссии между абсолютистской и релятивистской теориями пространства. В частности, распространяются утверждения, что посленьютоновская эра является свидетелем «окончательного элиминирования понятия абсолютного пространства из теоретической схемы современной физики»¹ эйнштейновской общей теорией относительности и что полемика Лейбница — Гюйгенса против Ньютона и Кларка была торжественно реабилитирована. В том же духе Филипп Франк вынес следующий вердикт относительно успешного осуществления Эйнштейном программы Эрнста Маха в *релятивистской* оценке *инерциальных* свойств материи: «Эйнштейн предпринял новый анализ ньютоновской механики, который оправдал переформулировку Маха [ньютоновской механики]»².

Мы покажем сейчас, что история общей теории относительности вовсе не подтверждает широко распространенной точки зрения Макса Джеммера и Филиппа Франка, изложенной в приведенных высказываниях, и тогда станет ясно, в каком смысле подтверждается следующее признание самого Эйнштейна, сделанное им в 1953 году: преодоление понятия абсолютного пространства представляет собой «процесс, который, по-видимому, не закончился еще и поныне»³.

¹ M. Jammer, *Concepts of Space*, p. 2.

² Ф. Франк, *Философия науки*, ИЛ, М., 1960, стр. 253.

³ См. предисловие Эйнштейна к работе Джеммера «*Concepts of Space*», «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 347.

Мах, вопреки Ньютону, настаивал на том, что инерция как при прямолинейном, так и при вращательном движении существенным образом зависит от распределения и относительного движения материи в больших масштабах. Если предположить, что земная ось, продолженная в бесконечность, устанавливает неограниченную евклидову жесткую систему S_e , тогда, по-видимому, вращательное движение звезд относительно S_e будет ясно определено. Однако, к сожалению, общая теория относительности не имела права ссылаться на систему S_e , ибо линейная скорость вращающихся точечных масс возрастает с увеличением расстояния от оси вращения, и, следовательно, существование системы S_e неограниченных размеров привело бы в нарушение требований о локальной справедливости специальной теории относительности к допущению *локальных* скоростей, больших, чем скорость света. Отсюда следует, что общая теория относительности должна отрицать возможность увеличения протяженности S_e даже до планеты Нептун, а отсюда следует, что концепция Маха об *относительном* движении Земли и звезд имеет не больший физический смысл, чем ньютонова бука *абсолютного* вращения одной Земли в пространстве, не зависящем по своей структуре от материи, присутствие которой в нем является случайным и индифферентным¹. В соответствии с этим Земля должна испытывать вращение *не* относительно звезд, а относительно локального «звездного компаса», представленного на Земле звездными световыми лучами, пути которых определяются локальным *метрическим* полем.

Эйнштейн предложил не только эту модификацию тезиса Маха, но также и обобщил его, показав, что *как* геометрия материальных стержней и часов, *так* и инерциальное поведение частиц и света в контексте этой геометрии находятся в функциональном отношении с одними и теми же физическими величинами. Не зная, вероятно, о том, что Риман, рассуждения которого шли совсем в ином направлении, еще раньше высказал предположение о зависимости геометрии физического пространства от действия

¹ Более подробно об этом см.: H. Weyl, *Massenträgheit und Kosmos*, «Naturwissenschaften», Bd. XII (1924), S. 197. См. также: F. E. A. Pirani, *On the Definition of Inertial Systems in General Relativity*, в: «Bern Jubilee of Relativity Theory», suppl. IV of «Helvetica Physica Acta», Basel: Birkhäuser Verlag, 1956, pp. 198—203.

материи¹, Эйнштейн назвал свое органическое соединение идей Римана и Маха «принципом Маха»². И он пытался выполнить этот принцип, требуя, чтобы метрическое поле, задаваемое величинами g_{ik} , *исчерпывающим образом* определялось свойствами и отношениями тяготеющей материи и энергии, определяемой величинами T_{ik} . Согласно этой концепции, единичная пробная частица не обладала бы инерцией, если бы вся остальная материя и энергия аннигилировала или была отодвинута на неопределенно большое расстояние.

Однако, когда столкнулись с проблемой решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, которые связывают производные g_{ik} с T_{ik} , стало ясно, что, несмотря на заклинания общей теории относительности, дух ньютонова абсолютного пространства является прямо-таки неистребимым. Ибо для того, чтобы получить решение этих уравнений, необходимо задать граничные условия «на бесконечности» и предположить, как это сделано в решении Шварцшильда, что существуют некоторые привилегированные системы координат, где g_{ik} имеют на бесконечности значения Лоренца — Минковского, в нарушение принципа Маха, поскольку, во-первых, граничные условия на бесконечности принимают тогда на себя роль абсолютного пространства Ньютона и галилеев характер систем координат на бесконечности в смысле специальной теории относительности не определяется влиянием материи, и, во-вторых, материя уже не является *источником всеобщей* структуры пространства-времени, а только видоизменяет структуру последнего, которая в противном случае, то есть для автономного пространства-времени, была бы плоской. В 1916 году Эйнштейн впервые попытался избежать этих наиболее нежелательных выводов, изменив указанные выше уравнения поля, введя в них космологическую постоянную λ , что привело к решениям, в которых пространство оказывалось замкнутым (конечным). Однако этот вынужденный шаг не позволил избежать мучительных трудностей философского харак-

¹ См.: Б. Р и м а н, О гипотезах, лежащих в основании геометрии, в сб. «Об основаниях геометрии», стр. 309—349. Читатель найдет краткую оценку соответствующих рассуждений Римана в первой и пятнадцатой главах этой книги.

² А. Э й н ш т е й н, Принципиальное содержание общей теории относительности, «Собрание научных трудов», т. I, стр. 613.

тера, которые неожиданно возникли в виде граничных условий на бесконечности. Эти трудности появились вновь, когда В. де Ситтер показал, что *видоизмененные* таким образом уравнения вновь нарушают принцип Маха, допускающая существование такой вселенной, которая вообще должна быть лишена материи, чтобы ее пространство-время обладало определенной структурой. Попытка ликвидировать трудности с бесконечностями, постулируя конечность пространства как *граничное условие*, определяющее решение *немодифицированных* уравнений поля, не может спасти принцип Маха в его первоначальном истолковании, поскольку подобное спекулятивное предположение подразумевает несвойственную для данного принципа связь между всеобщей структурой пространства и свойствами материи. В 1951 году был нанесен еще один удар надежде последователей Маха на онтологическое подчинение пространства-времени материи, когда Тауб показал, что существуют условия, при которых решение *немодифицированных* уравнений поля приводит к *искривленному* пространству и в отсутствии материи¹.

В связи с этими результатами неизбежно возникает вопрос, следует ли рассматривать неспособность общей теории относительности обеспечить выполнение принципа Маха как ее неадекватность или же общая теория относительности была права с философской точки зрения, оставляя абсолютное пространство Ньютона на значительных расстояниях, замаскировав его новыми структурными одеяниями. Позиция самого Эйнштейна в последние годы показывает, что он не особенно печалился по поводу отказа от принципа Маха. Его довод, по-видимому, состоял в том, что, хотя материя и обеспечивает *эпистемологический* базис метрического поля, это *не* дает нам права провозглашать онтологическое первенство материи над полем: материя есть только часть поля, а не его источник².

¹ A. N. Taub, Empty Space-Times Admitting a Three Parameter Group of Motions, «Annals of Mathematics», Vol. LIII (1951), p. 472.

² Обсуждение эйнштейновой теории поля см. в: J. Galloway, Mach's Principle and Unified Field Theory, «Physical Review», Vol. XCVI, (1954), p. 778. Относительно альтернативной теории тяготения, требовавшей строгого соответствия принципу Маха, но несовершенной в других соотношениях см.: D. W. Sciama, On the Origin of Inertia, «Monthly Notices of the Royal Ast-

Это, конечно, весьма далеко от утверждения Макса Джеммера об «окончательном элиминировании понятия абсолютного пространства из теоретической схемы современной физики»¹, более того, это его антитезис. На самом деле Джеммер сам приводит отрывок из недавней работы Эйнштейна, в которой последний говорит, что, если устранить *пространственно-временное поле*, то не будет никакого пространства². Однако Джеммер не дает никаких указаний на то, что это решительно отличается от прежнего утверждения Эйнштейна, что если бы вся *материя* аннигилировала, то исчезло бы также и метрическое пространство³.

Теперь ясно, что *нельзя* говорить, будто бы общая теория относительности решила спор между абсолютистской и релятивистской концепциями пространства в пользу последней, поскольку в ней выполняется принцип Маха. Напротив, современный уровень знания подтверждает суммарную оценку, которую дали в 1961 году физики Бранс и Дике.

Точка зрения, согласно которой геометрические и инерциальные свойства пространства в пустоте лишаются смысла, что физические свойства пространства имеют своим источником материю, которая в нем находится, и что движение частицы имеет смысл только как движение ее относительно остальной материи во вселенной, никогда не находила законченного выражения в физической теории. Эта точка зрения не нова, и ее путь можно проследить от сочинений епископа Беркли⁴ до работ Эрнста Маха⁵. Эти идеи нашли ограниченное выражение в общей теории относительности, однако следует признать, что, хотя в общей теории относительности геометрические свойства пространства определяются распределением масс, все же геометрия

gonomical Society», Vol. CXIII (1953), p. 35; «Inertia», «Scientific American», Vol. CXCVI, February 1957, pp. 99—109. См. также: F. A. K a e m p f f e r, On Possible Realizations of Mach's Program, «Canadian Journal of Physics», Vol. XXXVI (1958), pp. 151—159; O. K l e i n, Mach's Principle and Cosmology in their Relation to General Relativity, в: «Recent Developments in General Relativity», Warsaw: Polish Scientific Publishers, 1962, pp. 293—302.

¹ M. J a m m e r, Concepts of Space, p. 2.

² Ibid., p. 172.

³ Джеммер принял во внимание эти критические замечания и учел их на стр. 12 и 195 исправленного издания его книги, вышедшей в свет в Нью-Йорке в 1960 году.

⁴ Г. Беркли, Трактат о началах человеческого знания, СПб., 1905, § 111—117.

⁵ Э. Мах, Принцип сохранения работы, Замечание № 1, СПб., 1901, его же: «Механика», СПб., 1909, гл. II, разд. 6.

этим распределением уникальным образом не определяется. Пока еще нельзя точно определить граничные условия в уравнениях поля общей теории относительности, которые должны бы быть введены в теорию в соответствии с принципом Маха. Такие граничные условия должны бы, помимо всего прочего, элиминировать все решения, где отсутствуют массы¹.

Трудности, которые возникают при попытке ввести принцип Маха в его первоначальном толковании в общую теорию относительности, вызвали ответную реакцию двух различных типов со стороны ведущих исследователей, что иллюстрирует отсутствие единого понимания этого принципа. Бранс и Дике² предложили *модифицированную* релятивистскую теорию гравитации, которая, очевидно, совместима с принципом Маха³. Уилер четко сформулировал важные изменения, которые следует ввести в исходную программу принципа Маха, чтобы сохранить значение идей Маха для общей теории относительности в ее современном состоянии. По существу, уилеровская переформулировка принципа Маха состоит в следующем: «Точное установление достаточно правильной замкнутой трехмерной геометрии в два мгновения времени, немедленно следующих друг за другом, а также плотность и поток массы-энергии должны определять геометрию пространства-времени, прошлое, настоящее и будущее и тем самым инерциальные свойства любой бесконечно малой пробной частицы»⁴. Тогда, по мнению Уилера, обеспечить удовлетворитель-

¹ C. Brans and R. H. Dicke, Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation, «The Physical Review», Vol. CXXIV (1961), p. 925. См. также: R. H. Dicke, Mach's Principle and Invariance Under Transformation of Units, «The Physical Review», Vol. CXXV (1962), p. 2163; «The Nature of Gravitation», в: L. V. Berkner and H. Odishaw (eds.), Science in Space, New York: McGraw-Hill Book Co., 1960, Chap. iii, Sec. 3.1, «Mach's Principle», pp. 93—95. Оценку утверждений, которые можно рассматривать как модифицированные версии принципа Маха и которые имеют силу в общей теории относительности см. в: C. H. Brans, Mach's Principle and the Locally Measured Gravitational Constant in General Relativity, «The Physical Review», Vol. CXXV (1962), p. 396.

² C. Brans and R. H. Dicke, Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation.

³ P. Jordan, Schwerkraft und Weltall, Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn, 1955.

⁴ J. A. Wheeler, Mach's Principle as a Boundary Condition for Einstein's Field Equations and as a Central Part of the «Plan» of General Relativity (сообщение, сделанное на конференции по релятивистским теориям гравитации в Варшаве в июле 1962 года).

ность принципа Маха с точки зрения общей теории относительности можно только в том случае, если решительно изменить его формулировку: если нам дано, 1) что трехмерная геометрия пространства в некоторое начальное мгновение и в некоторое тесно примыкающее к нему последующее мгновение не распространяется на бесконечность и не характеризуется бесконечным радиусом кривизны и 2) дано распределение масс и поток массы, тогда тем самым определяется четырехмерная геометрия пространства-времени, или «геометродинамика», а следовательно, и инерциальные свойства бесконечно малых пробных частиц. В таком случае для Уилера принцип Маха в его модифицированном виде просто *ab initio* требует, чтобы вселенная была пространственно замкнутой или конечной. В этом смысле он представляет собой принцип, позволяющий выбирать из множества возможных решений эйнштейновых уравнения поля такие, для которых трехмерная геометрия в данное мгновение является замкнутой и свободной от сингулярностей, допускающая тем самым возможность определения четырехмерной геометрии и инерциального поведения бесконечно малых пробных частиц¹.

¹ Уилер [«The Universe in the Light of General Relativity», «The Monist», Vol. XLVII, No. 1 (1962), pp. 40—76] дал очень краткое изложение смысла переформулировки принципа Маха в применении к вселенной, лишенной вообще каких-либо «реальных» масс в смысле Клиффорда и Эйнштейна. Более подробно о вселенной последнего типа см. в: C. W. Misner and J. A. Wheeler, Geometrodynamics, «Annals of Physics», Vol. II (1957), pp. 525—614; L. A. Wheeler, Curved Empty Space-Time As the Building Material of the Physical World: An Assessment, в: E. Nagel, P. Suppes, and A. Tarski (eds.), Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress Stanford: Stanford University Press, 1962, pp. 361—374. J. G. Fletcher, Geometrodynamics, в: L. Witten (ed.), Gravitation, New York: John Wiley & Sons, 1962, Chap. xx, pp. 412—437.

КРИТИКА ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ УАЙТХЕДА

Теория относительности Эйнштейна оказала, по-видимому, весьма существенное влияние на философию науки Уайтхеда. Однако попытки Уайтхеда дать новую интерпретацию и модифицировать специальную и общую теорию относительности на языке категорий его собственной натуральной философии привели к расхождению его с Эйнштейном по двум важным пунктам: во-первых, как уже говорилось в двенадцатой главе, Уайтхед строит специальную теорию относительности, опираясь на признание *чувственной абсолютной одновременности* в любой данной инерциальной системе, что противоречит пониманию одновременности Эйнштейном, и, во-вторых, Уайтхед не признает общей теории относительности, поскольку он отрицает, исходя из эпистемологических соображений, концепцию Римана о соотношении между геометрией и физикой, которую Эйнштейн пытался внести в логическую ткань общей теории относительности с помощью принципа Маха, как на это указывалось нами в четырнадцатой главе.

В двенадцатой главе мы изложили наши соображения, почему концепцию одновременности Уайтхеда, конкурирующую с концепцией Эйнштейна, нужно рассматривать как абсолютно несостоятельную¹. Поэтому в данной главе остается только дать критическую оценку оснований, на которых Уайтхед отвергает точку зрения Римана

¹ Наши возражения по поводу защиты Полтером («Whitehead's Philosophy of Science», pp. 34—41) доктрины Уайтхеда об одновременности приведены в статье «Философия науки Уайтхеда» [«Philosophical Review», Vol. LXXI (1962), pp. 222—224].

на соотношение между геометрией и физикой, пронизывающую общую теорию относительности Эйнштейна. Уайтхед говорит:

Я считаю, что наш опыт требует однородности и выявляет ее основу... Это заключение, по существу, срезает причинную гетерогенность [геометрии]... что является сущностью последней теории Эйнштейна [общей теории относительности]. Для моей теории свойственно сохранение старого разделения между физикой и геометрией. Физика является наукой о случайных отношениях природы, а геометрия выражает их однородную связанность¹.

Таким образом, в противоположность геометрии общей теории относительности, которая имеет дело с *изменяющимся* пространством и временем, Уайтхед провозглашает однородность геометрии мира, утверждая тем самым, что геометрия может быть либо евклидовой, либо одной из неевклидовых геометрий *постоянной* отрицательной или положительной кривизны.

Чтобы выявить философскую подоплеку позиции Уайтхеда, следует внимательно разобраться в том, какие рассуждения привели к римановой концепции соотношения между геометрией и физикой. Риман пришел к революционному выводу о том, что метрика геометрии физического пространства, принимая во внимание определенный стандарт конгруэнтности, присуща этому пространству, как отмечает Вейль, «только благодаря наличию материального содержания, наполняющего его и определяющего его метрические отношения»². Иначе говоря, «Риман отрицает мнение, господствовавшее до него, а именно что метрическая структура пространства дана раз и навсегда и по существу не зависит от физических явлений, для которых пространство есть фон, и что реальное содержание пользуется им наподобие того, как мы снимаем квартиру»³. И как помнит читатель из высказывания Римана, приведенного в первой главе в разделе Б, Риман пришел к этому выводу *на основе концепции относительно статуса пространственной конгруэнтности*. В непрерывном многообразии пространства (или времени) мера интервала должна гарантироваться стандартом конгруэнтности, который «следует искать где-то

¹ A. N. Whitehead, *The Principle of Relativity*, pp. 5—6.

² H. Weyl, *Space-Time-Matter*, p. 98.

³ *Ibid.*

в другом месте [то есть вне самого многообразия]»¹ с помощью соглашения. *Однако совпадения этого стандарта при перемещении не определяются структурой самого пространственного (или временного) многообразия.* Таким образом, Риман делает вывод, что если «то реальное, что создает идею пространства», представляет собой непрерывное многообразие, то в таком случае «нужно пытаться объяснить возникновение метрических отношений чем-то внешним — силами связи, действующими на это реальное»².

Теперь становится очевидным, что направленная против раздвоенности перцептуалистическая концепция пространственной и временной конгруэнтности Уайтхеда, которую мы уже опровергали в первой главе, раздел Ж, является *font et origo* (первоисточником) его отрицательного отношения к рассуждениям Римана, а следовательно, и к поддержке Эйнштейном геометрии с *переменной* метрикой в общей теории относительности. Ибо геометрия и кинематика, как составные части предлагаемой Уайтхедом конкурентной теории относительности, разработаны им с помощью метода экстенсивной абстракции³ и основываются на утверждении, что уникальная конгруэнтность в пространстве и времени, которая гарантируется содержанием наших *чувственных* восприятий, является таковой, что требует от геометрии мира *однородности* в пространстве и времени. Однако если нам удалось при рассмотрении проблемы конгруэнтности в первой главе, раздел Ж, доказать несостоятельность этого тезиса Уайтхеда, его аргумент в пользу однородности мировой геометрии является необоснованным.

Полтер указывает⁴, что когда Уайтхед приводил в качестве аргумента в пользу однородности пространства свою оценку значения чувственного восприятия при установлении чистой связанности, он вообще не упоминал о конгруэнтности. И таким образом, может показаться, что

¹ Б. Р и м а н, О гипотезах, лежащих в основании геометрии. В сб. «Об основаниях геометрии», стр. 324.

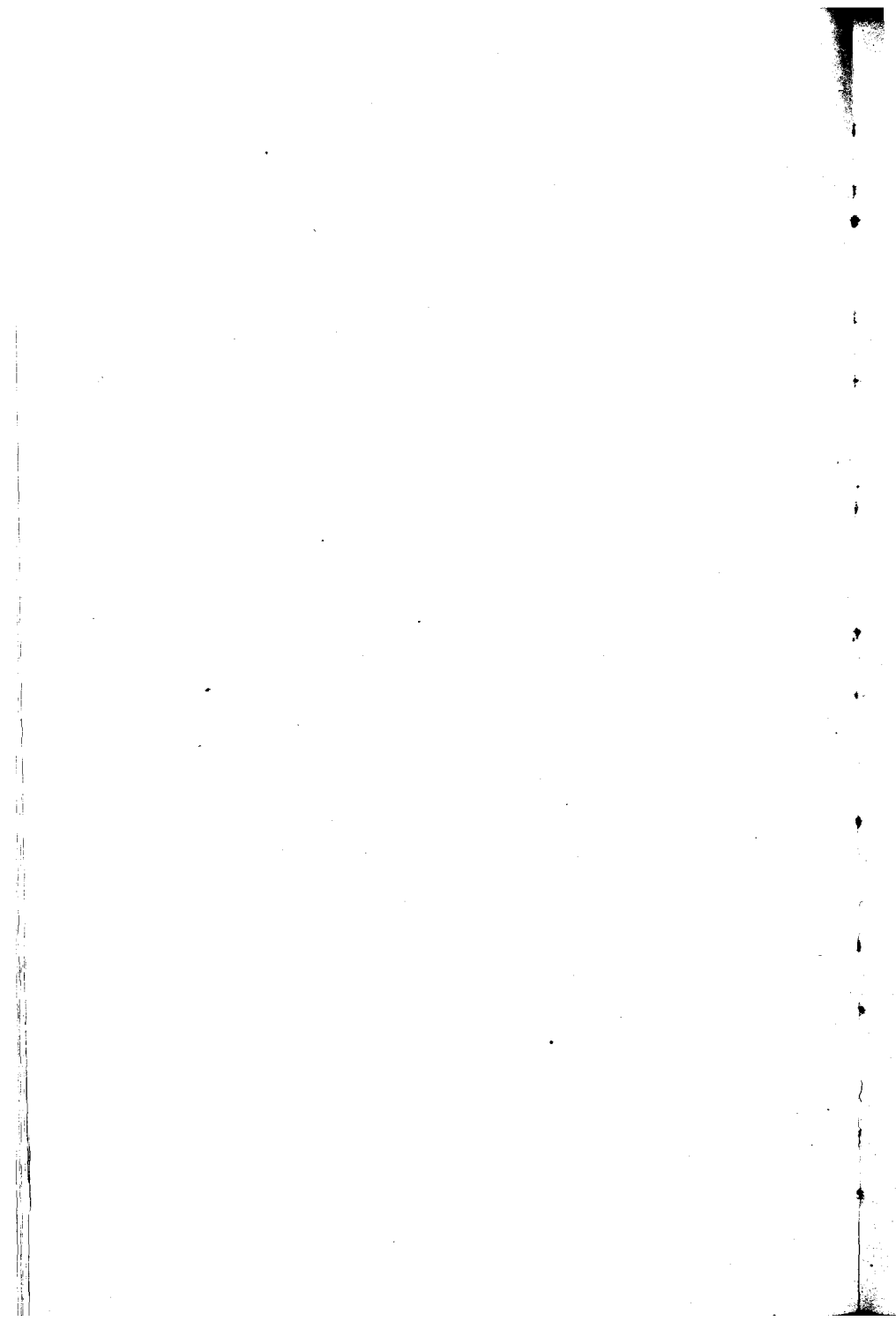
² Там же.

³ Наши соображения относительно того, что метод экстенсивной абстракции Уайтхеда несостоятелен в рамках его перцептуалистической эпистемологии, изложены в статье «Уайтхедовский метод экстенсивной абстракции» [«The British Journal for the Philosophy of Science», Vol. IV (1953), pp. 215—226].

⁴ R. M. P a l t e r, Whitehead's Philosophy of Science, pp. 25—27, 32—33.

мы ошиблись, посчитав, что Уайтхед основывает свои доводы относительно однородности на восприятии конгруэнтности. Однако имеются неотразимые математические аргументы против точки зрения Полтера, согласно которой Уайтхед считал, что признание им однородности не должно зависеть от оценки конгруэнтности и последняя имеет отношение только к вопросу о том, какая из трех видов однородных геометрий существует в природе. Как математик, Уайтхед должен был знать, что утверждения об однородной метрической связанности не имеют никакого смысла по крайней мере без молчаливой ссылки на частный критерий конгруэнтности: если бы геометрия пространства была переменной относительно некоторого типа конгруэнтности, всегда существовало бы бесконечное множество конгруэнтностей иного типа, которые придавали бы геометрии пространства однородный характер, и наоборот. Так, например, хотя поверхность яйца характеризуется переменной геометрией (гауссова кривизна) по отношению к стандарту метризации, имеется бесконечное множество других конгруэнтностей, относительно которых геометрия той же самой поверхности будет характеризоваться однородностью, которую придает поверхности сферы стандарт метризации. Следовательно, без точного определения критерия конгруэнтности одно только утверждение об однородности пространства не накладывает никаких ограничений на совпадения перемещаемых стержней и отнюдь не исключает переменной геометрии общей теории относительности Эйнштейна. Поэтому представляется неизбежным вывод, что предлагаемые Уайтхедом аргументы в пользу однородной связанности подтверждаются или опровергаются совместно с его тезисом относительной конгруэнтности.

Поскольку нам удалось показать, что этот последний тезис совершенно не обоснован, мы должны вынести следующий приговор уайтхедовской общей теории относительности, которая является конкурентом теории Эйнштейна: если бы оказалось, что однородность пространства, постулируемая в его альтернативе общей теории относительности Эйнштейна, получила в будущем сильную поддержку со стороны эмпирических данных, это произошло бы отнюдь не потому, что *философские* соображения, которые положены Уайтхедом в основу этого предположения, являются справедливыми.



Приложение

УСТАНОВЛЕНИЕ ОДНОВРЕМЕННОСТИ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕДЛЕННО ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ЧАСОВ*

§ 1. Введение

В своей посмертно изданной книге по теории относительности Бриджмен утверждает, что можно обойтись без световых сигналов Эйнштейна как средства синхронизации часов в инерциальных системах специальной теории относительности¹. Сначала Бриджмен синхронизирует каждые из некоторого множества часов C_1, C_2, \dots, C_n со смежными с ними стационарными часами U_A , которые расположены, по существу, в той же точке A . Затем он перемещает это множество часов C_n в другую точку пространства B вдоль линии AB таким образом, что они прибывают туда совместно. Вслед за тем он следующим образом устанавливает часы U_B в точке B : он устраняет любое различие k , существующее между показаниями множества часов C_n , транспортировка которых в пределе является бесконечно медленной, и показаниями стационарных часов U_B .

Бриджмен указывает, что, если специальная теория относительности является истинной, тогда его метод приводит в преобразованиях Лоренца к показаниям часов не менее уникальным, чем это позволяет сделать эйнштейновская стандартная процедура синхронизации с помощью световых сигналов. К тому же тот факт, что метод основывается на экстраполяции, бесконечно медленной в пределе транспортировки часов, не мешает выполнению этой процедуры за приемлемо короткое время. Впоследствии термин «медленное перемещение часов» следует понимать как сокращение термина «бесконечно медленное перемещение часов». Бриджмен продолжает комментировать философское значение осуществимости синхронизации с помощью медленного перемещения часов в качестве альтернативы метода, основывающегося на световых сигналах. В частности, оценивая эйнштейновскую концепцию одновременности, уточненную Рейхенбахом, он пишет: «Удаленные

* Материал этой статьи предназначался автором для двенадцатой главы настоящего издания. Учитывая, однако, что содержание статьи имеет самостоятельное значение, редакция сочла целесообразным поместить её в качестве приложения.— *Прим. ред.*

¹ P. W. Bridgeman, *A Sophisticate's Primer of the Special Theory of Relativity*, Middltown, Connecticut: Wesleyan University Press, 1962, pp. 64—67.

друг от друга часы, сверенные методом перемещения, будут в согласии с часами, сверенными по методу Эйнштейна... Перемещаемые часы... приведут к установлению рейхенбаховской ϵ , равной $1/2$... Какое это имеет значение?... Что станет с утверждением Эйнштейна о том, что его метод сверки удаленных часов, то есть выбор значения $1/2$ для величины ϵ , представляет собой «определение» одновременности удаленных событий. Мне кажется, что замечание Эйнштейна никоим образом не является ошибочным. Он, по существу, говорил, что любой метод какой-либо сверки удаленных часов включает в себя элемент определения и что при выборе значения, равного $1/2$, он только применил один из частных методов¹...

Решение использовать тот или иной метод является контролируемым нами решением, подразумевающим соответствующее *определение* одновременности удаленных событий. Тот факт, что эти два метода находятся в согласии... никоим образом не является логически необходимым, но представляет собой нечто такое, что должно быть установлено с помощью независимого эксперимента².

В 1967 году Эллис и Боумен выступили с модифицированной версией предложенного Бриджменом метода синхронизации путем медленной транспортировки часов³. Эти авторы обращают внимание на те физические факты поведения часов, которые лежат в основе этого метода. Они утверждают, что эти физические факты опровергают философскую концепцию Эйнштейна относительно метрической одновременности в специальной теории относительности в том виде, как ее интерпретирует Рейхенбах.

Эллис и Боумен считают важной заслугой Бриджмена в области физики идею синхронизации с помощью медленной транспортировки часов. Но они ничего не говорят об отличии их точки зрения от точки зрения Бриджмена по поводу значения его метода для философского обоснования уточненной Рейхенбахом эйнштейновской концепции одновременности. В отличие от Бриджмена Эллис и Боумен утверждают, что *физические* предположения его метода демонстрируют либо ошибочность, либо тривиальность тезиса о том, что в специальной теории относительности установление одновременности удаленных друг от друга событий подразумевает конвенциональный ингредиент.

Рассмотрим пару пространственно разделенных часов, находящихся в состоянии покоя в инерциальной системе K . Эллис и Боумен говорят, что такие часы находятся в состоянии «стандартной синхронизации» в системе K , если их синхронизация достигнута либо с помощью правила Эйнштейна для световых сигналов, либо путем медленного перемещения часов. В символике Рейхенбаха стандартной синхронизации, правилу Эйнштейна для светового сигнала, соответствует значение $\epsilon = 1/2$ ⁴. Ибо когда световой луч достигает вторых часов, они должны показывать ровно

¹ P. W. Bridgeman, a *Sofisticated's Primer of the Special Theory of Relativity*, p. 66.

² *Ibid.*, p. 67.

³ B. Ellis and P. Bowman, *Conventionality in Distant Simultaneity*, «Philosophy of Science», 34 (1967), pp. 116—136.

⁴ H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, p. 127.

половину интервала времени, протекшего с момента его отправления до момента возвращения сигнала к первым часам. Поэтому Эллис и Боумен говорят о нестандартной синхронизации в том случае, если часы сверены так, что это соответствует значению $v=1/2$. Они следующим образом подводят итог своим рассуждениям: «Часто утверждают, что нет никаких логических или физических оснований для предпочтения стандартной синхронизации перед какими-либо возможными нестандартными синхронизациями. В этой статье... показано, что в том случае, если специальная теория относительности дает правильные предсказания, имеются веские физические основания для предпочтения стандартной сигнальной синхронизации.

Тезис о конвенциональном характере одновременности удаленных друг от друга событий, выдвигаемый, в частности, Рейхенбахом и Грюнбаумом, следует рассматривать поэтому либо как тривиальный, либо вообще отвергнуть его»¹.

В пролегоменах к своей трактовке синхронизации с помощью медленного перемещения часов Эллис и Боумен делают следующее утверждение: первый постулат специальной теории относительности, а именно принцип относительности, либо ограничивает нестандартную сигнальную синхронизацию, либо совершенно исключает ее. Я должен отослать читателя к другой публикации, где содержится подробная критика этого утверждения². Здесь же достаточно сказать следующее: нестандартные сигнальные синхронизации вполне совместимы с фактуальным физическим содержанием первого постулата специальной теории относительности, и только некоторые частные формулировки этого постулата совместимы исключительно со стандартной синхронизацией.

Мы намереваемся точно сформулировать статус отношений одновременности, соответствующих синхронизации, достигаемой с помощью перемещения часов в инерциальных системах специальной теории относительности. Для этого мы сначала охарактеризуем статус одновременности в следующих двух различных вселенных: 1) в мире ньютоновской механики и 2) в гипотетической вселенной, которую мы будем называть квазиньютоновской. Последняя сходна с миром Ньютона в том, что в ней транспортируемые часы, которые вначале локально синхронизированы друг с другом, а затем произвольным образом перемещены в какое-то другое место, будут после их встречи в этом месте давать одинаковые показания. Но эта вторая вселенная отличается от мира Ньютона тем, что как распространение света в вакууме, так и гравитационные воздействия представляют собой наиболее быстрые каузальные цепи, которые в инерциальной системе этой квазиньютоновской вселенной могут связывать между собой любые две точки пространства, так что каждый из этих двух видов воздействий имеет одинаковую конечную скорость прохождения пути туда-обратно в любой инерциальной системе.

¹ B. Ellis and P. Bowman, *Conventionality in Distant Simultaneity*, «Philosophy of Science», 34 (1967), pp. 116—136.

² A. Grünbaum, *Simultaneity by Slow Clock Transport in the Special Theory of Relativity*, «Philosophy of Science», Vol. 36, № 1 (March 1969), pp. 13—18.

§ 2. Одновременность в механике Ньютона

Пусть непрерывная прямая слева будет каким-то участком мировой линии часов U_1 , которые находятся в состоянии покоя в точке A инерциальной системы I . И пусть E' будет некоторым событием, относящимся к жизненному пути других часов U_2 , покоя-

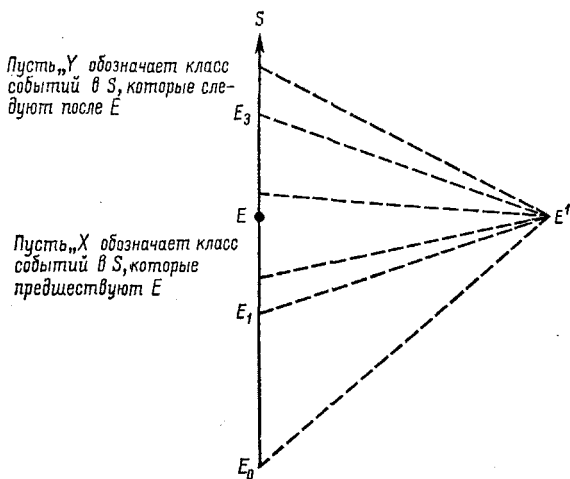


Рис. 16.

щихся в точке B системы I . Предположим, кроме того, что имеются какие-то другие часы U , которые движутся в системе I , пересекают мировую линию U_1 и в момент их встречи дают те же самые показания, что и часы U_1 . Тогда (после учета последствий, вызываемых дифференциальными силами в терминологии Рейхенбаха) фактом будет являться то, что U при любой *последующей* встрече будут давать *те же самые показания*, что и U_1 . Это согласие между U и U_1 не является, однако, единственным отношением, в котором ньютоновская и релятивистская транспортировки часов отличаются друг от друга.

В ньютоновском мире произвольно быстрых частиц (или каузальных цепей) жизненный путь S часов U_1 содержит *уникальное* событие E , которое не может принадлежать *также* и к жизненному пути движущихся часов U (или какой-либо иной частицы), содержащему событие E' . Раз получена ньютоновская система времени, то этот факт может быть выражен в виде высказывания, что «некоторое тело (U) не может в одно и то же время находиться в двух разных местах (A и B)». И специфическое уникальное событие E подразделяет S на два расчлененных открытых подынтервала событий X и Y , обладающих следующими свойствами: *каждое* событие x в X и *каждое* событие y в Y могут принадлежать также к мировым линиям движущихся часов U , пере-

сечение которых с мировой линией часов U_2 представляет собой событие E' . Кроме того, если каждые часы U были локально синхронизированы с часами U_1 , то время t' события E' , согласно каждому U , является одним и тем же и в численном отношении расположено между временем x по U (или U_1) и временем y по U (или U_1). Мировые линии таких часов U обозначены прерывными линиями. И промежуточное положение E' на этих мировых линиях является делом чисто порядкового временного факта. Так, оно не зависит от ссылок ни на какую меру длительности интервала между событиями xE' или $E'y$. Таким образом, исходя из идентичных показаний t' достаточно быстро движущихся часов U , соответствующие жизненные пути которых точно так же охватывает x и y для любого x в X и любого y в Y , E' во времени расположено между ними. И E' является единственным событием на мировой линии U_2 , испытывающим эти отношения «между» ко всем членам X и Y .

Но верно также и то (исходя из нашей дефиниции X и Y), что E является единственным событием в S , которое находится во времени между каждым x в X и каждым y в Y . Отсюда следует, что а) E' и E во времени расположены между одними и теми же событиями в S и б) в любой системе квазипоследовательного временного порядка, охватывающей события на U_2 и в S , E' и E занимают одинаковое место по отношению к порядку «раньше» и «позже», и это является фактом временного порядка. Следовательно, только на основе временных отношений «между» E' является уникальным образом одновременным с E в рамках S , а E является одновременным с E' в рамках жизненного пути U_2 .

Отметим, что эти временные отношения «между» и *одновременности* могут быть установлены без предварительной ссылки на временную метрику, которая присписывает меры длительности парам событий или временным интервалам: присписывание одновременности E и E' на основе числовых обозначений моментов времени, обеспечиваемых часами U_1 и U , не требует *предварительного предположения* о том, что E' произошло позже, чем некоторое событие E_0 в S на такую же величину времени, как и E . Поэтому данное утверждение об одновременности впервые не нуждается в предположении, что меры длительности интервалов между событиями E_0E и E_0E' равны. Вместо этого фактом является одновременность E и E' на основе соображений об одном только порядке. Этот факт делает интервалы между событиями E_0E и E_0E' вдвойне совпадающими во *временном* континууме. И это двойное совпадение E_0E и E_0E' гарантирует равенство их длительностей, поскольку каждая из них является мерой одного и того же интервала во *временном* континууме.

Кроме того, если E_0 принадлежит к мировой линии часов U_2 и одновременно с E_0 на основе нашего чисто порядкового критерия, устанавливаемого перемещением часов, тогда меры длительностей интервалов событий E_0E и E_0E' будут равны просто потому, что каждая из них является мерой одного и того же интервала мгновений во *временном* континууме. Однако временной порядок, устанавливающий равенство этих частных длительностей, не свидетельствует также о конгруэнтности между последовательными временными интервалами на какой-то одной мировой линии или для *временного* континуума за большой отрезок времени. Следо-

вательно, частное равенство длительностей, выводимое из отношений одновременности в теории Ньютона, не способствует опровержению тезиса о том, что интервалы временного континуума лишены внутренне присущей им метрики¹. И никаких порядковых или топологических оснований для такой конгруэнтности не существует.

Для нашей оценки утверждения Эллиса и Боумена будет очень важным отметить в данном пункте, как много требуется для того, чтобы говорить о неметрическом, чисто порядковом характере уникального отношения одновременности между E и E' , которое обеспечивается ньютоновской транспортировкой часов. Предположим, в частности, что *вопреки* ньютоновской физике существует положительный замкнутый, но очень маленький подынтервал E_1E_3 мировой линии S , который содержит E_1 , но члены x и y которого *не могут* находиться на мировых линиях каких-либо часов U , содержащих событие E' . И предположим далее, как в ньютоновской физике, что все часы U способны связывать *другие* события линии S с E' путем транспортировки, обеспечивая *то же самое* время t' , совпадающее с E' , где t' равно времени t , которое показывают часы U_1 после свершения события E . Тогда одного только согласия между показаниями таких часов U , фиксирующими временную координату t' , где $t' = t$, было бы недостаточно, чтобы установить уникальную одновременность E' с E на основе одних только соображений *о порядке*. Ибо при постулированных теперь гипотетических обстоятельствах в порядке существует некоторый разрыв. И поэтому данное суждение об одновременности также решительным образом будет зависеть от *метрического* требования, чтобы E и E' *по длительности были эквидистантны* от каждого данного события на мировой линии S , которое произошло раньше, чем E_1 , или позже, чем E_3 .

Чтобы дать дальнейшую характеристику философскому статусу одновременности, устанавливаемой ньютоновским перемещением часов, нам надлежит дать комментарий относительно того, какое значение в теории Ньютона для ее временных отношений имеют каузальные связи. Третий ньютонов закон движения (закон равенства действия и противодействия) в совокупности с законом всемирного тяготения говорит нам, что наши E и E' могут быть связаны взаимными мгновенными гравитационными воздействиями. Они могут быть представлены как каузальные цепи $EE'E$ или $E'EE'$, «излучение» которых либо в E , либо в E' совпадает с их «возвращением» либо в E , либо в E' . И поскольку никакое ньютоновское тело не может находиться в двух различных местах одновременно, никакое ньютоновское тело или часы не могут связать E и E' таким образом, чтобы эти события совпадали пространственно-временным образом с событиями, являющимися членами его жизненного пути. На самом деле в ньютоновском мире цепи гравитационных воздействий являются единственными каузальными цепями, жизненный путь которых может включать одновременные

¹ Подробнее обсуждение этого тезиса см. в: A. G r ü n b a u m, *Geometry and Chronometry in Philosophical Perspective*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1968, Chap. III, § 2.9 and 2.10.

события, такие, как E и E' . И гравитационные цепи охватывают только одновременные события. Более того, любая система парных *неодновременных* событий может быть связана негравитационной каузальной цепью, которая является генетически тождественной, то есть составляет жизненный путь одного и того же тела. Жизненный путь единичных стандартных часов представляет собой пример только одного из частных видов генетической каузальной цепи.

Ясно, что было бы несовместимо с ньютоновским временным порядком говорить, как это делается в специальной теории относительности, о *неодновременности* двух событий, связуемых только наиболее быстрой каузальной цепью, а не единичными часами. Ибо, согласно теории Ньютона, наши события E и E' являются одновременными по показаниям их часов, и все же они могут быть связаны с помощью наиболее быстрой, с точки зрения Ньютона, каузальной цепью (гравитацией), и только этой цепью. Напротив, специальная теория относительности требует, чтобы ее часы были поставлены так, чтобы в результате получилась *неодновременность* любых двух событий, которые могут принадлежать только к жизненному пути ее наиболее быстрых каузальных цепей (свет) даже в том случае, если оба эти события не могут находиться на мировой линии единичных часов. Таким образом, в специальной теории относительности *любым* двум каузально связуемым событиям в каждой инерциальной системе следует приписывать различные временные значения, устанавливаемые часами. Это требование специальной теории относительности является ее координативным определением инвариантного разделения во времени, или *неодновременности* двух событий. Поскольку это координативное определение *неодновременности* является несовместимым с теорией Ньютона, мы не должны допускать старой релятивистской привычки вводить его втихомолку, когда приступаем к рассмотрению того, как в мире Ньютона каузальные отношения связаны с временными отношениями.

Необходимо сделать предостережения относительно нашей характеристики *неодновременности* как координативного определения инвариантного разделения во времени двух событий в специальной теории относительности. Это по традиции означает, что частный временной порядок двух каузально связуемых событий является инвариантным во всех инерциальных системах. Однако недавно стали появляться статьи, в которых утверждается физическая возможность существования каузальных цепей, более быстрых, чем скорость света в вакууме, и связывающих события таким образом, что их временной порядок *не* является инвариантным согласно преобразованиям Лоренца специальной теории относительности¹.

¹ G. Feinberg, Possibility of Faster-Than-Light Particles, «The Physical Review», 159 (1967), pp. 1089—1105; R. G. Newton, Causality Effects of Particles That Travel Faster Than Light, «Physical Review», 162 (1967), p. 1274; S. A. Bludman and M. A. Ruderman, Possibility of the Speed of Sound Exceeding the Speed of Light in Ultradense Matter, «Physical Review», 170 (1968), pp. 1176—1184; M. Ruderman, Causes of Sound Faster Than Light in Classical Models of Ultradense Matter, «Physical Review», 172 (1968), pp. 1286—1290.

Эти публикации ставят проблемы, которые мы не имеем возможности рассматривать здесь. Поэтому в данной статье я не буду принимать в расчет никакие модификации неодновременности или даже специальной теории относительности, которых можно было бы потребовать, учитывая эти результаты.

В другом месте я подробно показал, что некоторые отношения *каузальной промежуточности*, или *каузальные* отношения «между» обнаруживаются у событий, принадлежащих к цепям генетического тождества, которые не пересекаются в пространстве сами с собой по крайней мере в одной инерциальной системе¹. Подобным же образом такие отношения каузальной промежуточности получаются во вселенных механики Ньютона и специальной теории относительности². Однако в ньютоновском мире события, связываемые *гравитационными* цепями, не обнаруживают этих отношений каузальной промежуточности. Последние цепи пространственно пересекаются сами с собой в *любой системе отсчета*, поскольку излучение любого ньютоновского гравитационного воздействия совпадает (в пространственно-временном смысле) с его возвращением в каждую систему. Поэтому каждая гравитационная цепь в какой бы то ни было системе пересекается сама с собой. Далее, отношения *временной* промежуточности и одновременности в мире Ньютона можно охарактеризовать на основе каузальной промежуточности, определяемой следующим подклассом K возможных в этом мире каузальных цепей: K есть множество всех тех цепей генетического тождества, которые в пространственном отношении сами с собой не пересекаются по крайней мере в одной инерциальной системе. Хотя все наши часы U имеют мировые линии, которые являются пространственно самопересекающимися в точке A пространства системы I , жизненные пути этих часов U *следует* квалифицировать как члены класса K , поскольку они не пересекаются сами с собой в пространстве в тех инерциальных системах, которые движутся в направлении, перпендикулярном к пространственной линии AB в системе I .

Учитывая тот важный факт, что в K входят еще и члены, отличные от жизненных путей стандартных часов, мы можем следующим образом сформулировать значение полного членства K для ньютоновских временных отношений между событиями: отношения *каузальной* промежуточности, обеспечиваемые *членами* класса K , являются полностью изоморфными с отношениями *временной* промежуточности, устанавливаемыми временными числами по ньютоновским часам, жизненные пути которых также являются членами класса K . И определенные таким образом отношения *временной* промежуточности также позволяют нам сказать, что наши

¹ См.: A. Grünbaum, *Modern Science and Zeno's Paradoxes*, Middletown: Wesleyan University Press, 1967 and London: Allen & Unwin, 1968; pp. 56—62.

² Обсуждаемые здесь отношения каузальной промежуточности не подразумеваются, но только допускаются при введении в специальную теорию относительности координативного определения неодновременности. И они, конечно, не зависят от неодновременности как своей предпосылки.

события E и E' идентично происходят во времени между одними и теми же событиями в S . Поэтому E и E' также оказываются в порядковом отношении одновременными, причем на более общих основаниях каузальных отношений, обеспечиваемых принадлежностью к классу K , который гораздо шире, чем класс жизненных путей часов. В самом деле, в конце данной статьи мы увидим, что *числовая* промежуточность координат, обеспечиваемая часами, получает свое временное значение из более фундаментальной каузальной промежуточности. Хотя ньютоновскую гравитационную цепь с таким же успехом можно квалифицировать как генетически тождественную, ее нельзя все же оценить как член класса K . Следовательно, определяемые классом K отношения временной промежуточности не позволяют сделать парадоксальный вывод, что одно из двух одновременных событий, принадлежащих к гравитационной цепи, происходит во времени между вторым из них и еще каким-то третьим событием. Также и координативное определение неодновременности специальной теории относительности невозможно запретить в теории Ньютона тот вывод, что E и E' парадоксально неодновременны.

Из нашего анализа становится ясным, что в ньютоновском мире события являются одновременными в силу физического факта, поскольку неметрические отношения временной промежуточности обеспечиваются часами этого мира и/или каузальными отношениями в классе K . Пространственно разделенные ньютоновские часы в A и B могут быть непротиворечивым образом синхронизированы с помощью перемещаемых из A в B третьих часов U и установлением для каждого из них локальной одновременности с U в момент совпадения с ними. Мы видим, что тождество (однообразие) временных чисел, обеспечиваемое для одновременных событий синхронизированными таким образом часами A и B , передает отношение равенства, которое на самом деле физически существует между этими событиями. Таким образом, существование отношения, которому ньютоновская теория приписывает название «одновременный», не подразумевает никакого конвенционального ингредиента. Что является здесь конвенциональным, так это только частное тождество временного числа, одинаковым образом приписываемого всем членам класса одновременных событий. Тождество этого числа обусловлено произвольной установкой каких-то часов. Но равенство отношения одновременности, выражаемое одинаковыми числами часов в ньютоновской теории, не предписывается конвенцией.

Ньютоновская одновременность является абсолютной в стандартном физическом смысле, а именно одновременность двух событий E и E' является *инвариантной* относительно всех систем отсчета. Но одновременность Ньютона является также и фактуальной в противоположность конвенциональной, поскольку устанавливается чистыми фактами временного порядка. Мы скоро увидим *à propos*, что хотя отношения одновременности в воображаемом квазиньютоновском мире являются *инвариантными*, они зависят от метрической апелляции к тому, что E и E' эквидистантны в смысле длительности от какого-то или каких-то других событий. И мы будем утверждать вопреки Эллису и Боуману, что эта зависимость от временной метрики вводит нетривиальный конвен-

циональный ингредиент в отношении одновременности квазиньютоновского мира. И напротив, отношения одновременности ньютоновского мира не являются конвенциональными.

С точки зрения обоснования очевидно, что в теории Ньютона движущаяся сущность имеет определенную скорость в одном направлении в данной системе только в силу однонаправленного в числовом отношении прохождения времени, которое в этой теории уже определено. И если это однонаправленное прохождение времени должно иметь какое-то значение для целей физической теории, то оно должно обеспечиваться *синхронизированными* часами. В свою очередь синхронизированные часы показывают одни и те же временные числа для событий, которые квалифицируются как одновременные в рамках данной физической теории. Следовательно, в теории Ньютона не менее чем в специальной теории относительности скорость в одном направлении предполагает отношение одновременности для удаленных друг от друга событий. Однако из нашего анализа ясно, что существование ньютоновских отношений одновременности не может быть одинаково предсказано исходя из каких-то числовых значений однонаправленных скоростей. Таким образом, одновременность Ньютона не ставит проблему преодоления порочного логического круга¹. Конечно, в эпистемологических цепях одновременность двух событий может быть *выведена* в теории Ньютона при некоторых обстоятельствах из информации, содержащей величину скорости в одном направлении.

§ 3. Одновременность в квазиньютоновской вселенной

Квазиньютоновский мир отличается от ньютоновского мира в следующих отношениях: в первом распространение света в вакууме и гравитационные воздействия являются наиболее быстрыми каузальными цепями, которые могут связать две любые точки пространства в какой-либо инерциальной системе, и каждое из этих воздействий имеет одну и ту же скорость прохождения пути туда-обратно в любой инерциальной системе. Пусть прерывные линии E_1E' и $E'E_3$ на нашей диаграмме будут мировыми линиями световых лучей. Тогда в квазиньютоновском мире ни одно из событий в *открытом* интервале E_1E_3 не может быть связано с E' *никакой* каузальной цепью и ни одно из событий, принадлежащих к *замкнутому* подынтервалу E_1E_3 мировой линии S , не может быть связано с E' с помощью перемещения часов. Но тем не менее в этом мире фактом является то, что все перемещаемые часы U способны установить связь *других* событий на мировой линии S , самопроизвольно и согласованно показывая одно и то же временное число t' после их совпадения с E' . Предположим, что это число t' является тем же самым, что и число t , которое показывают часы U_1 после свершения E , причем данное тождество является инвариантным во всех системах этого гипотетического мира и не зависит от точ-

¹ Рейхенбах вполне определенно установил это. См. его обсуждение этого вопроса в «Философии пространства и времени» («The Philosophy of Space and Time», p. 129 and 146—147).

ного определения какой-либо скорости часов в одном направлении.

Очень важно подчеркнуть при этом, что в данной ситуации для предотвращения вывода о неизбежной одновременности E' с E , то есть вывода о том, что E' должно занимать в системе временного порядка, определяемого жизненным путем часов U_1 , то же самое место, что и E , необходимо сделать дальнейшие предположения. Каждые часы U были (и будут) локально синхронизированы с U_1 при пересечении их мировых линий путем установления после их встречи одних и тех же показаний. Каждые из часов U , так же как и часы U_1 , обнаруживают на своих мировых линиях соответствующий порядок событий. И световой луч $E_1E'E_3$ определяет отношения временной промежуточности на своей собственной мировой линии. В частности, E и E' оба находятся между E_1 и E_3 , так что $t = t'$. Но решающее отличие от мира Ньютона состоит здесь в том, что не существует никаких физических оснований для утверждения, что E' также находится во времени между парой событий x и y , причем таких, что x принадлежит к открытому интервалу E_1E , а y — к открытому интервалу EE_3 . И поэтому в отношении дедуктивной выводимости одновременности E и E' в данном случае имеется следующее расхождение с миром Ньютона. Чисто порядковое значение равных координат t и t' , которые часы U_1 и U приписывают в соответствии со своими мировыми линиями пространственно разделенным событиям E и E' , вовсе не является достаточным для того, чтобы упорядочить E и E' в их отношении друг к другу, как относящихся уникальным образом к одному и тому же мгновению в рамках общей системы квазипоследовательного временного порядка.

Чтобы сделать последнее утверждение по поводу одновременности в квазиньютоновском мире, мы должны связать утверждение о локальной синхронизации U_1 и U со следующим метрическим требованием: E и E' в смысле длительности являются эквидистантными по отношению к одному или многим другим событиям, таким, как E_0 , которые находятся на пересечении мировых линий часов U_1 и одних из часов U , где эти часы были локально синхронизированы. Мы только что видели, что E' является неопределенным в смысле порядка по отношению к E , несмотря на тождество их временных координат. И эта неопределенность вытесняется здесь одновременностью только после добавления, что поскольку $t = t'$, а $t - t_0 = t' - t_0$, то на мировых линиях U_1 и U протекало одинаковое количество времени с момента их пространственного разделения, после того как они оба показывали t_0 при их пересечении E_0 . Следовательно, здесь ссылаются на меру длительности, согласно которой равные различия во временных координатах пары событий требуют соответственно равенства между их мерами длительности. И поскольку меры временных интервалов E_0E и E_0E' вдоль обеих мировых линий равны, то E и E' в смысле длительности эквидистантны от E_0 . Таким образом, тождество временных координат t и t' служит здесь для установления одновременности E и E' только после метрической апелляции к конгруэнтности длительностей интервалов на разных мировых линиях. Но, как мы сейчас увидим, именно эта зависимость от временной метрики вводит нетривиальным образом конвенциональный ингредиент в отношении одновременности E и E' .

Подобно точкам физического пространства, мгновения времени являются непротяженными и не обладают внутренне присущей им величиной. Жизненный путь центра масс часов U порождает континуум мгновений, и часы как целое приписывают этим мгновениям уровни временного порядка или координаты. В своей «Инаугурационной лекции» Риман обратил внимание на следующий важный факт, имеющий отношение к подобным интервалам: континуумы, составляющие различные интервалы мгновений времени или точек пространства, не обладают внутренне присущей им метрикой, которая могла бы послужить внутренней мерой для их соответствующих протяженностей. Поэтому внутренне присущее кардинальное число не может обеспечить такой основы, поскольку все (невырожденные) интервалы обладают одинаковыми кардинальными числами. И интервалы мгновений, соответствующие нашим парам событий E_0E и E_0E' , не обладают внутренне присущими им мерами длительности, которые могли бы удостоверить их равенство.

Следовательно, во внутренне присущих этим интервалам свойствах нет ничего такого, что могло бы установить в качестве временного факта, что часы U_1 и U являются метрически изохронными, или характеризуются одинаковой «скоростью хода», на тех отрезках их мировых линий, которые не совпадают. В этом существенном смысле изохронизм часов, согласно которым E и E' в смысле длительности эквидистантны от E_0 , предполагает наличие конвенции. Поэтому в отличие от мира Ньютона утверждение, что E и E' в квазиньютоновском мире являются одновременными, основывается на конвенции в нетривиальном смысле этого термина. И только тождество частных временных чисел, приписываемых одинаковым образом как E , так и E' , является вопросом тривиальной конвенции так же, как и в мире Ньютона.

Таким образом, риманов анализ статуса конгруэнтности интервалов точек или мгновений позволяет нам уяснить, почему утверждение о временной эквидистантности основывается на конвенции. И следовательно, наша оценка подтверждает тезис Рейхенбаха, что одновременность E и E' в квазиньютоновском мире является вопросом «определения» (в противоположность «факту»), хотя именно *фактом* является то, что все часы U согласованно показывают одно и то же число t' после свершения события E' ¹. Он добавляет также, причем весьма уместно, что здесь мы имеем дело с «определением» одновременности, которое является определенным в том же самом смысле, что и определение конгруэнтности с помощью жестких стержней»². И мы можем далее сказать, что при наличии конвенции относительно одновременности, опирающейся на перемещение часов в конъюнкции с метрикой пространства, величина скорости света в одном направлении становится вопросом эмпирического факта.

Это вообще аналогично утверждению, что при наличии конвенции о самоконгруэнтности данного стержня при его перемещении и о том, что этот стержень является эталонным, длина других тел становится вопросом эмпирического факта.

¹ H. Reichenbach, The Philosophy of Space and Time, pp. 133—135.

² Ibid.

Эллис и Боумен оспаривают этот вывод, предъявляя ему обвинение в том, что конвенциональный характер одновременности имеет здесь «тривиальный» смысл и, следовательно, «не заслуживает обсуждения»¹. Они выдвигают при этом следующие основания: «Рейхенбах утверждает... что даже в том случае, если бы предсказания специальной теории относительности были ошибочны... и было бы возможно установить синхронизацию с помощью процедуры перемещения часов, все равно было бы вопросом определения, а не эмпирического факта то, что часы, которые были локально синхронизированы, оставались бы синхронными и после удаления их друг от друга. Ибо этот случай был бы тогда, по существу, аналогичен случаю конгруэнтности удаленных друг от друга стержней... Мы все же могли бы утверждать, что локально синхронизированные часы не остаются синхронными после их разделения даже в том случае, если бы было обнаружено, что они являются синхронными всегда и везде, как только вновь встречаются вместе... Но в таком случае любое отношение количественного равенства, которое зависит от локального сравнения, является конвенциональным. Равенство отдаленных друг от друга тел по массе или температуре было бы не менее конвенциональным в этом смысле, чем одновременность отдаленных друг от друга событий»².

И, говоря об отношениях одновременности, устанавливаемых с помощью *медленного* перемещения часов в инерциальной системе специальной теории относительности, Эллис и Боумен утверждают: «...если бы эмпирические предсказания специальной теории относительности по поводу перемещения часов оказались верными, тогда можно предположить, что существует такое физическое отношение, которое на деле является симметричным и транзитивным и которое можно было бы использовать для определения одновременности отдельных событий. Это физическое отношение не зависит от какой бы то ни было сигнальной процедуры и не требует для своего определения никаких предварительных измерений скорости. Поэтому оно подобно тем отношениям, которые могут быть использованы для определения равенства по массе отдаленных друг от друга тел и про которые никто не говорит, что они являются конвенциональными в каком-то ином смысле, кроме тривиального»³.

Если можно согласиться с тем, что синхронизация с помощью медленной транспортировки часов является возможной в каких-то инерциальных системах, то можно утверждать, что мы имеем не больше оснований согласиться с определением синхронизации путем медленного перемещения часов, которое мы дали, чем признать какое-либо нестандартное определение с помощью медленного перемещения. Таким образом, мы можем допустить, что бесконечно медленно перемещаемые часы, однажды синхронизированные, всегда будут сохранять взаимную синхронность, но мы можем отрицать, что они будут оставаться синхронными в отдалении друг от друга. Но это только показывает, что одновременность

¹ B. Ellis and P. Bowman, *Conventionality in Distant Simultaneity*, «Philosophy of Science», 34 (1967), p. 135.

² Ibid., p. 127.

³ Ibid.

отдаленных друг от друга событий является конвенциональной в тривиальном смысле, как является конвенциональным любое количественное равенство между отдаленными друг от друга вещами. Если в этом и заключается все содержание тезиса Рейхенбаха о конвенциональности, то было бы абсурдно тратить столько времени на его обсуждение¹.

Эти замечания Эллиса и Боумана нуждаются в критических комментариях. *Неверно*, что в квазиньютоновской вселенной одновременность является якобы конвенциональной только в том смысле, в котором «любое отношение количественного равенства, зависящее от локального сравнения, является конвенциональным». Мы видели, что в ньютоновской вселенной отношения одновременности, устанавливаемые транспортируемыми часами, на самом деле имеют силу временного порядка. Но эти отношения зависят от существования пересечений мировых линий U_1 и U_2 , где эти часы локально *сравниваются* или *синхронизируются*. Хотя они явным образом зависят от локального сравнения часов, все же ньютоновские отношения одновременности *не* являются конвенциональными. И если сами эти ньютоновские отношения не являются конвенциональными даже в тривиальном смысле, то частное тождество числовых *наименований*, которое случается использоваться для выражения этих отношений одновременности, безусловно, является таковым. Но тривиальная конвенциональность частных временных координат (числовых наименований), одинаковым образом приписываемых двум или большему числу событий, относящихся к частному классу одновременности, вовсе не делает конвенциональным само отношение одновременности между этими событиями. И тождество этой частной временной координаты (числового наименования) может устанавливаться путем выбора на часах нулевого момента времени или его эквивалента. Напротив, если исходить из философских соображений Римана относительно метрической конгруэнтности, то, как мы видели, в квазиньютоновской вселенной одновременность событий E и E' основывается на нетривиальной конвенции, помимо тривиальной, которая касается выбора нулевого момента времени.

Конвенциональный элемент, общий для одновременности как в ньютоновском, так и в квазиньютоновском мире, касается выбора нулевого момента времени на часах или его эквивалента и, конечно, является только тривиальным. Но было бы неверно вместе с Эллисом и Боуменом делать вывод о том, что одновременность в квазиньютоновском мире и одновременность, устанавливаемая в специальной теории относительности с помощью медленного перемещения часов, не подразумевает ничего, кроме этой тривиальной конвенциональности. Эллис и Боумен делают этот неверный вывод потому, что они ошибочно предполагают, что зависимость от локального числового сравнения должна быть *единственным* источником конвенциональности. Именно это ошибочное предположение побуждает их рассматривать как тривиальную конвенциональность неньютоновской одновременности, ссылаясь на совершенно не относящееся к делу положение, а именно

¹ B. Ellis and P. Bowman, *Conventionality in Distant Simultaneity*, p. 134.

что «равенство отдаленных друг от друга тел по массе или температуре было бы не менее конвенциональным в этом смысле, чем одновременность удаленных друг от друга событий»¹.

Кроме того, даже если *было бы* верным утверждение, что «любое отношение количественного равенства, которое зависит от локального сравнения, является конвенциональным» в *одном и том же смысле*, отсюда вовсе не следовало бы, что *большая общность* этой конвенциональности делает ее более тривиальной. Атрибут смертности не становится тривиальным от указания на то, что он в одинаковой степени присущ всем людям.

Наше сравнение ньютоновского и квазиньютоновского миров показывает, что отношения абсолютной одновременности, которые устанавливаются с помощью часов, могут быть конвенциональными не в тривиальном смысле. Это заключение отменяет наши прежние утверждения на этот счет².

Патнэм также ошибочно утверждал, что философский статус одновременности в квазиньютоновском мире является таким же, что и в ньютоновской вселенной³. Наше утверждение относительно статуса одновременности в квазиньютоновском мире позволяет нам теперь оценить одновременность, устанавливаемую в специальной теории относительности с помощью медленного перемещения синхронизированных часов.

§ 4. Одновременность, устанавливаемая в специальной теории относительности с помощью медленного перемещения синхронных часов

Вселенная специальной теории относительности отличается от квазиньютоновского мира в следующих двух отношениях: 1) синхронные часы, которые медленно перемещаются в различных инерциальных системах специальной теории относительности, обеспечивают временными координатами преобразования Лоренца. Следовательно, вердикты об одновременности, устанавливаемые с помощью таких часов, являются в *междусистемном* смысле несовпадающими, или относительными, а не инвариантными, или абсолютными; 2) в специальной теории относительности спонтанные показания часов U , которые первоначально были синхронизированы с часами U_1 в точке пространства A , будут вообще *не совпадать* с ними после перемещения в другую точку пространства B . Эта внутрисистемная несогласованность между часами U ведет к несовместимости между различными вердиктами об однове-

¹ Ibid., p. 126.

² Эти утверждения исправлены нами в: «Simultaneity by Slow Clock Transport in the Special Theory of Relativity» [«Philosophy of Science», Vol. 36, No. 1, March 1969, pp. 5—43].

³ H. Putnam, An Examination of Grünbaum's Philosophy of Geometry, в: «Philosophy of Science» (The Delavare Seminar, Vol. 2), B. Baumrin (ed.), New York: Interscience Publishers, 1963, pp. 205—255.

менности, когда показания U соединяются со спонтанными показаниями различных часов U .

Бриджмен, а также Эллис и Боумен говорят нам, по существу, что второе (но не первое!) из этих двух различий между двумя мирами, возможно, не имеет смысла. Так, они указывают, что внутрисистемная несогласованность спонтанных показаний часов U является таковой, что должна исчезать при нулевом пределе скорости бесконечно медленного перемещения часов. При этом пределе показания часов U являются такими же, как и показания часов в точке B , которые синхронизированы с часами U_1 с помощью стандартного метода сигналов. Эллис и Боумен осторожно замечают¹, что хотя установление скорости в одном направлении и предполагает синхронизацию часов, требование приближения к бесконечно медленному перемещению может быть обеспечено математически без ссылок на какую-нибудь синхронизацию, исключаящую другие.

Часы в мире специальной теории относительности физически ведут себя именно таким образом. Здесь необходимо задержаться и показать, что это действительно так, поскольку доказательство, данное Эллисом и Боуменом², основывается на излишней аппроксимации³, а также делает неизбежным использование термина «имеющая место скорость».

Напомним (см. диаграмму мировой линии в § 2), что событие E_1 является излучением светового сигнала из точки A , прибытие которого в точку B совпадает с происходящим там событием E' . Так же, как и раньше, E_0 является частным событием в A , так что E_0E' представляет собой участок мировой линии часов U , которые движутся по отношению к нашей инерциальной системе I вдоль пространственного отрезка прямой $A = d$. Если время t_0 события E_0 по часам U_1 равно нулю, тогда частные события E_0 и E' будут определять более поздний момент времени t_1 события E_1 по часам U_1 , в который посылается световой луч. Это время $t_1 > 0$ по часам U_1 выражается формулой

$$t_1 = \frac{d}{v_0} - \frac{d}{c},$$

где v_0 является параметром, который зависит от частных пар событий E_0E' , а c — константа, которая имеет величину стандартной скорости света, но не зависит на этом этапе от какой-либо частной синхронизации U_2 с U_1 . Нас интересуют здесь показания U в точке B после свершения там события E' . Ясно, что показания U будут зависеть от пары событий E_0 и E' и, следовательно, от параметра v_0 , а также от того, что U были локально синхронизированы с U_1 в тот момент, когда они начали удаляться от них. Но эти показания часов U не могут зависеть от того, синхронизировали ли мы U_2 с U_1 стандартным способом или нет. И нам нечего

¹ В. Ellis and P. Bowman, Conventinality in Distant Simultaneity, p. 129—130.

² Ibid., pp. 128—130.

³ Там же, стр. 128, формула (8).

сказать, пока эти показания зависят от какой-либо синхронизации U_2 с U_1 ! Однако в эвристических целях выяснения, каковы будут показания часов U в точке B , мы предположим сейчас, что U_2 стандартным способом синхронизированы с U_1 .

Коль скоро это предположение сделано, а скорость света в одном направлении равна c , время прохождения светом пути в одном направлении равно d/c , и, следовательно, время, когда световой сигнал излучается, $t_1 = (d/v_0) - (d/c)$ по часам U_1 , а время, когда он прибывает в точку, где расположены часы U_2 , $t_2 = (d/v_0)$. Таким образом, если мы применяем стандартную синхронизацию $\epsilon = 1/2$, наш параметр пары событий оказывается скоростью в одном направлении часов U_1 , и U_2 будут показывать время $t_2 = (d/v_0)$ после прибытия часов U . Но если мы не пользуемся стандартной синхронизацией, тогда часы U_2 будут показывать после прибытия часов U время, отличное от d/v_0 , скажем, $(d/v_0) + k$ (где $k \neq 0$).

Однако безотносительно к тому, синхронизируем ли мы часы U_2 с U_1 , и если да, то как, время t' события E' по перемещаемым, часам U будет

$$t' = \frac{d}{v_0} \sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}.$$

Рассмотрим теперь не одни перемещаемые часы, как мы это сейчас делали, а большое число таких часов U , которые все, отправляясь в путь, локально синхронизируются с U_1 в различные моменты времени по этим часам, и все вместе прибывают в B после свершения там события E' . Если v является параметром пары событий, причем таким, что $0 < v \leq v_0$, то пусть эти различные часы U отправляются соответственно из A в какие-то более ранние моменты $t \leq 0$, задаваемые $t = \frac{d}{v_0} - \frac{d}{v}$.

Опираясь на наши прежние рассуждения, мы можем сделать вывод, что приращение времени, согласно каждому часам U , при перемещении из A в B будет равно $d/v \sqrt{1 - (v_2/c_2)}$. Следовательно, после совместного прибытия в B , когда там произойдет событие E' , часы U будут показывать времена t' , определяемое по формуле

$$t' = \frac{d}{v_0} - \frac{d}{v} + \frac{d}{v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t_2 - \frac{d}{v} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right].$$

Мы хотели бы установить предел этих показаний, когда мы берем значение параметра пары событий v , которое соответствует всем более ранним временам отправления, то есть когда v стремится к нулю. Если при синхронизации U_2 с U_1 мы используем $\epsilon = 1/2$, тогда v является скоростью U в одном направлении, и предел, который мы ищем, может быть охарактеризован как соответствие бесконечно медленному перемещению.

Чтобы доказать, что $\lim_{v \rightarrow 0} t' = d/v_0$, где d/v_0 является показанием t_2 по стандартным синхронизированным часам U_2 , нам

нужно показать, что *различие* между t' и t_2 исчезает при пределе, когда $v \rightarrow 0$. Поскольку

$$t' - t_2 = \frac{d[\sqrt{1 - (v^2/c^2)} - 1]}{v},$$

мы видим, что как числитель $f(v)$, так и знаменатель $g(v)$ этой дроби стремится к нулю, когда $v \rightarrow 0$. Согласно правилу Лопиталю¹, в этом случае

$$\lim_{v \rightarrow 0} \frac{f(v)}{g(v)} = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{f'(v)}{g'(v)} = \frac{f'(0)}{g'(0)},$$

поскольку $g'(v) = 1 \neq 0$. Но $f'(v) = (-vd)/(c^2 \sqrt{1 - (v^2/c^2)})$, так что $f'(0) = 0$. Следовательно, $\lim_{v \rightarrow 0} (t' - t_2) = 0/1 = 0$, что и требовалось доказать.

Таким образом, внутрисистемная несогласованность спонтанных показаний часов U является такой, что имеет результатом уникальные показания, требуемые стандартной синхронизацией, если мы приближаемся к пределу бесконечно медленного перемещения. Отметим, что все временные координаты, входящие в последовательность разностей, по которым берется этот предел, относятся к одному-единственному событию E' . Ибо E' представляет собой событие, происходящее в момент t_2 по часам U_B , когда все часы *совместно* прибывают в B . Однако этот метод нахождения предела только несущественно отличается от того, который был использован Бриджменом. Напомним, что во введении (§ 1) мы говорили о том, что движущиеся часы C_n , по Бриджмену, *не* прибывают совместно в B . Поэтому он находит предел других разностей, а именно разностей между различными показаниями часов C_n , с одной стороны, и последовательностью *различных* моментов времени их прибытия к фиксированным в B часам — с другой.

Решающий вопрос состоит в том, какой вывод следует из физических фактов, выражаемых этими пределами, в отношении философского статуса отношений одновременности, соответствующих синхронизации, устанавливаемой в специальной теории относительности с помощью медленного перемещения часов. Наше обсуждение квазиньютоновского мира позволит нам ответить на этот вопрос; хотя медленная транспортировка синхронизированных часов и приводит к относительности, к инвариантным отношениям одновременности специальной теории относительности, все же перемещение синхронизированных часов в квазиньютоновском

¹ Правило Лопиталю утверждает следующее: пусть функции $f(x)$ и $\varphi(x)$ на некотором отрезке $[a, b]$ удовлетворяют условиям теоремы Коши и обращаются в нуль в точке $x = a$, то есть $f(a) = g(a) = 0$; тогда если существует предел отношения $[f'(x)]/[g'(x)]$ при $x \rightarrow 0$, то существует и $\lim_{x \rightarrow a} [f(x)]/[g(x)]$, причем $\lim_{x \rightarrow a} [f(x)]/[g(x)] = \lim_{x \rightarrow 0} [f'(x)]/[g'(x)]$ (см. Н. С. Пискунов, Дифференциальное и интегральное исчисление для втузов, т. 1, «Наука», М., 1964, стр. 132).

мире приводит к абсолютным отношениям одновременности. Для ответа на этот вопрос мы можем использовать квазиньютоновский мир по следующим соображениям: при *медленном* перемещении показания часов в данной инерциальной системе специальной теории относительности имеют такое же *одинаковое внутрисистемное физическое значение*, что и *согласие* в показаниях часов, перемещаемых в некоторой инерциальной системе квазиньютоновского мира. Мы видели à propos, что в последней вселенной один только физический факт согласия часов при их перемещении *не* является достаточным для утверждения, что отношения одновременности, подразумеваемые при синхронизации с помощью медленного перемещения часов, могут быть конвенциональны только в тривиальном смысле. Справедливо отмечая как *физический факт*, что

$$\lim_{v \rightarrow 0} (t' - t_2) = 0,$$

Эллис и Боумен делают неверный вывод, что временная координата t' , которую медленно перемещаемые часы приписывают событию E , когда достигает B , имеет следующее порядковое значение по отношению к событиям, происходящим в точке A : физически событие E' занимает то же самое место в порядке более ранних или более поздних событий в точке A , что и событие E , которое случается в момент времени $t = t'$ по часам U_1 .

Но из квазиньютоновского мира мы знаем, что именно такой вывод является ошибочным и приводит к неверному заключению.

Конечно, аналогия между одновременностью и пространственной конгруэнтностью и здесь является весьма поучительной. Если три стержня 1, 2 и 3 совпадают друг с другом в месте A , а затем стержни 2 и 3 перемещаются в другое место B , тогда *физическим фактом* является то, что последние два стержня будут вновь совпадать (при отсутствии дифференциальных сил) независимо от путей их перемещения. Этот физический закон гарантирует *справедливость* утверждения, что *все* (дифференциально недеформированные) стержни при транспортировке остаются самоконгруэнтными. Но, как нас учит Риман, это *не* гарантирует того, что данное утверждение о самоконгруэнтности *конвенционально* лишь в тривиальном смысле. В нетривиальной конвенциональности самоконгруэнтности этого класса стержней не следует сомневаться, несмотря на то что данное утверждение предполагает закон *согласования* между данными относительно конгруэнтности различных стержней, которые являются, по сути дела, физическими. Конечно, самоконгруэнтность данного класса стержней становится фактуальным вопросом по отношению к другому стандарту пространственной конгруэнтности, такому, как время прохождения светом *туда-обратно*. Но тогда конвенциональность прокрадывается через самоконгруэнтность *этого* стандарта при перемещении¹.

¹ Весьма подробное обсуждение этого вопроса и его аспектов см. в: A. Grünbaum, Reply to Hilary Putnam's «An Examination of Grünbaum's Philosophy of Geometry», «Boston Studies in the Philosophy of Science», Vol. V, ed. by R. S. Cohen and M. Wartofsky, Dordrecht: D. Reidel Publishing Co., 1968, §§ 2.9, 2.10, 2.11 and § 6.

Кроме того, бесполезно указывать, как это делают Эллис и Боумен, что поведение часов при медленном перемещении является уникально специфицированным вопросом факта именно потому, что фактом является то, что $\lim_{v \rightarrow 0} (t^1 - t_2) = 0$. Ибо этот факт

не устанавливает того, что отношения одновременности, соответствующие медленному перемещению синхронных часов, являются вопросом фактов временного порядка и конвенциональны только в тривиальном смысле. Таким образом, эти отношения одновременности не становятся конвенциональными только в тривиальном смысле именно потому, что часы, с помощью которых медленно перемещается синхронность, являются также синхронными в смысле стандартной синхронизации с помощью сигналов. Последнее согласие показывает, что как медленная транспортировка, так и эйнштейново правило световых сигналов будут *одинаково* приводить к временной координате события E' , которая равна координате t , приписываемой событию E часами U_1 . Впредь мы будем обозначать временную координату события E' , которая обеспечивается *медленно* перемещаемыми часами, через t'_S . Иными словами, $\lim_{v \rightarrow 0} t' = t'_S$. Тогда фактически $t'_S = t_2$, где $t_2 = t$. Более того,

фактом является и то, что E и E' расположены во времени между E_1 и E_3 . Но тем не менее без какой-либо ссылки на метрику времени комбинация этих фактов недостаточно, чтобы восполнить следующий разрыв во временном порядке, о котором говорилось: здесь нет никаких физических оснований для утверждения, что E' также расположено во времени между парами событий x и y так, что x принадлежит к открытому интервалу E_1E , а y — к открытому интервалу EE_3 .

Поскольку для того, чтобы утверждать одновременность, нужно ликвидировать разрыв в порядке, имеющийся здесь, введя метрическое требование, законность альтернативной метрики длительности делает законными соответствующие альтернативные определения одновременности. В частности, несмотря на равенство временных координат E и E' , имеющее своим результатом равенство разностей между временными координатами событий E_1E и E_1E' , ничто не принуждает нас приписывать равные меры длительности этим двум парам событий и, следовательно, не принуждает к утверждению об одновременности событий E' и E . К тому же равенство разностей между временными координатами пар событий EE_3 и $E'E_3$ не вынуждает нас делать именно это утверждение об одновременности. В частности, предположим, что мы задаем меру длительности для интервала между такими событиями, как E_1E , на мировой линии U_1 с помощью разности $t - t_1$ между их временными координатами подобно стандартной временной метрике. Тогда мы свободны принять меру длительности интервала E_1E' на мировой линии входящего светового луча, задаваемую величиной $2\varepsilon (t'_S - t_1)$, где ε может иметь любое значение от 0 до 1 и, следовательно, может отличаться от $1/2$. И точно так же мы свободны выбрать такую меру длительности интервала $E'E_3$, которая задается величиной $2(1 - \varepsilon)(t_3 - t'_S)$. Отметим, что, когда, следуя этой процедуре, мы вводим нестандартную временную

метрику, выбирая $\varepsilon \neq 1/2$, мы не вносим никаких изменений в показания t'_S медленно транспортируемых часов. Поэтому здесь наша частная процедура не требует установления этих часов таким образом, чтобы они отличались от показаний t_2 часов U_2 , которые синхронизированы стандартным образом. Тем не менее здесь наша процедура имеет результатом те же самые вердикты относительно одновременности, что и нестандартная сигнальная синхронизация, поскольку 1) мы допускаем временную координату $t'_S = t$ медленно транспортируемых часов, но используем нестандартную временную метрику на мировых линиях, уходящих и возвращающихся световых лучей, которые связывают событие E' с событиями в той точке, где расположены часы U_1 , и 2) мы используем стандартную временную метрику на мировой линии часов U_1 . Короче говоря, мы воспользовались здесь нашей свободой отрицания того, что временные координаты, обеспечиваемые медленно движущимися часами, автоматически оцениваются как синхронизированные с U_1 .

Используя $\varepsilon \neq 1/2$ в контексте *последней* процедуры, попытаемся определить, какое событие E_x , связанное с часами U_1 и отличное от события E , окажется одновременным с событием E' . Это событие E_x не специфицируется тем фактом, что E_x и E' должны быть в смысле длительности эквидистантны от E_1 при условии, что мера длительности интервала $E_1 E_x$ задается стандартной временной метрикой, в то время как мера длительности $E_1 E'$ задается нестандартной временной метрикой $2\varepsilon (t'_S - t_1)$. Пусть t_x будет временной координатой события E_x по часам U_1 . Тогда t_x задается условием эквидистантности

$$t_x - t_1 = 2\varepsilon (t'_S - t_1).$$

Вспомнив, что

$$t_1 = \frac{d}{v_0} - \frac{d}{c},$$

а

$$t'_S = \frac{d}{v_0},$$

мы получаем для временной координаты E_x по часам U_1

$$t_x = \frac{d}{v_0} \left[1 - \frac{v_0}{c} (1 - 2\varepsilon) \right].$$

То же самое событие E_x , оказывается, должно быть одновременным с E' , если пользоваться в данной ситуации стандартной временной метрики нестандартным правилом синхронизации часов с помощью сигналов и поставить часы U_2 в соответствие с $\varepsilon \neq 1/2$. В результате этой процедуры событие E' получает временную координату t'_2 , которая отличается от t_2 и выражается формулой

$$t'_2 = t_1 + \varepsilon \left(\frac{2d}{c} \right).$$

Подставляя этот результат в формулу для t_1 , получаем

$$t'_2 = t_x.$$

Между прочим, чтобы получить одновременность E' и E_x через их эквидистантность в смысле длительности от таких событий, как E_0 (то есть от событий, происшедших раньше, чем E_1), мера длительности интервала E_0E' должна задаваться *более сложной метрикой*, чем в случае интервала E_1E' .

Теперь попробуем применить нестандартные временные метрики $2\varepsilon(t'_S - t_1)$ и $2(1-\varepsilon)(t_3 - t'_S)$ к временным координатам, обеспечиваемым часами U_1 , а также медленно транспортируемыми часами, чтобы определить скорость света в одном направлении вдоль AB и BA ¹. Тогда мы получаем

$$V_{AB} = \frac{d}{2\varepsilon(t'_S - t_1)} = \frac{d}{2\varepsilon \cdot \frac{d}{c}} = \frac{c}{2\varepsilon}$$

и

$$V_{BA} = \frac{d}{2(1-\varepsilon)(t_3 - t'_S)} = \frac{d}{2(1-\varepsilon) \frac{d}{c}} = \frac{c}{2(1-\varepsilon)}$$

И эти скорости туда и обратно тождественны с теми, которые получаются из нестандартной сигнальной синхронизации при $\varepsilon \neq 1/2$. Таким образом, факты поведения часов при медленной транспортировке совместно с принципом скорости света вынуждают нас утверждать равенство скоростей света на пути туда-обратно не более, чем другие факты специальной теории относительности могут принудить нас использовать стандартную синхронизацию с помощью сигналов и тем самым говорить об их равенстве. Ибо мы уже видели, что временная координата, устанавливаемая медленной транспортировкой часов, не может ликвидировать упомянутый выше разрыв во временном порядке, не может диктовать временную метрику и не может вынести какой-либо частной временной метрике, используемой для вывода одновременности, приговор о фактуальной истинности.

Иначе говоря, поведение часов при медленной их транспортировке *не* решает вопроса о фактуальной истинности утверждений об отношениях одновременности, соответствующих медленной транспортировке синхронных часов. И эти отношения одновременности являются конвенциональными в негравитационном смысле — впредь мы будем называть их «конвенциональными в смысле Римана», как и отношения одновременности, присущие стандартной синхронизации с помощью сигналов. Но конечно, *если* мы принимаем синхронизацию с помощью медленной транспортировки как *соглашение* об одновременности, тогда равенство скоростей света туда-обратно становится вопросом эмпирического факта. Напро-

¹ Возражения на утверждение Эллиса и Боумана о том, что для $\varepsilon \neq 1/2$ эти скорости света в одном направлении якобы требуют незаконного постулирования «универсальных сил», см.: A. G r i n b a u m, Simultaneity by Slow Clock Transport in the Special Theory of Relativity, «Philosophy of Science», Vol. 36, No. 1, March 1969, pp. 34—35.

тив, если мы принимаем как соглашение об одновременности стандартную синхронизацию с помощью сигналов, тогда равенство этих *однонаправленных* скоростей является только *определением*, выводимым из этого правила синхронизации. Принятие синхронизации, устанавливаемой медленной транспортировкой часов, делает *фактуально истинным* утверждение о равенстве этих скоростей по той простой причине, что согласие между синхронизацией путем медленной транспортировки часов и стандартной синхронизацией с помощью сигналов является в специальной теории относительности фактуальным. Но фактически это согласие не может свести к нулю конвенциональность в смысле Римана по поводу отношений одновременности, одинаковым образом имплицитно входящую в каждую из согласующихся процедур синхронизации, а также в равенстве скоростей света.

Это заключение опровергает характеристику Эллиса и Боумена, которую они дают философскому значению определения Рёмера скорости света, идущего в одном направлении от лун Юпитера к Земле. Рейхенбах уже указывал, что синхронность, имплицитно присущая определению Рёмера, обеспечивается Землей, которая рассматривается как медленно транспортируемые часы¹. И в согласии с Рейхенбахом я утверждаю, что здесь, как и повсюду в специальной теории относительности, «утверждения относительно времени прохождения светом пути в одном направлении или о скорости в одном направлении не выводятся из одних только фактов, но требуют также в качестве предварительного условия установления критерия синхронизации часов»². Эллис и Боумен, замечают, что «метод Рёмера, в частности, является законной процедурой определения скорости света в одном направлении»³. А в сноске на той же странице пишут: «Грюнбаум, ссылаясь на Рейхенбаха, интерпретирует проблему таким образом, будто кто-то молчаливо предполагает «в качестве предварительного условия установление критерия синхронизации часов...» Однако мы рассматриваем Землю как такие часы, о которых известно эмпирически, что они медленно транспортируют синхронность. Согласно этой точке зрения, синхронность, которую мы рассматриваем, не задается посредством декрета, как это имеет место у упомянутых авторов, но, напротив, прямо и независимо от сигнальных процедур известно, что она должна быть истинной. Поскольку это известно, может быть измерена скорость света в одном направлении»⁴.

Но мы только что видели, что доказательство Рёмером скорости света в одном направлении, хотя оно и является эмпирическим, все же отнюдь не основывается на медленной транспортировке синхронности, о которой известно, что она должна быть истинной».

¹ H. Reichenbach, Planetenuhr und Einsteinische Gleichzeitigkeit, «Zeitschrift für Physik», 33 (1925), S. 628—631.

² См. главу двенадцатую настоящего издания, стр. 450.

³ V. Ellis and P. Bowman, Conventinality in Distant Simultaneity, p. 131.

⁴ Ibid., p. 131. § 16.

Предположим, что *вопреки факту* Рёмер, используя медленную транспортировку синхронности Землей как часами, нашел, что скорость света, идущего от лун Юпитера, должна зависеть от направления (движения) Юпитера в солнечной системе. При такой гипотетической возможности возникла бы вопреки специальной теории относительности несогласованность между определением синхронности путем медленной транспортировки часов и стандартным методом определения синхронности с помощью сигналов. Но предположим далее, что в соответствии со специальной теорией относительности мы имеем веские эмпирические основания предположить, что свет является наиболее быстрой возможной причинной цепью и что скорость его прохождения туда-обратно является положительной величиной. Назовем эту гипотетическую вселенную «миром $\# 1$ ». Тогда, несмотря на отмеченную выше *гипотетическую* несогласованность между двумя синхронизациями в этом «мире $\# 1$ », факты медленной транспортировки часов не стали бы вынуждать нас индуктивно интерпретировать *гипотетические* данные как устанавливающие неравенство скоростей света туда-обратно. Именно поэтому нельзя сказать в данном случае об установлении синхронности с помощью медленной транспортировки часов, что «известно, что она должна быть истинной», и мы могли бы интерпретировать предполагаемые данные таким образом, что из них якобы следует равенство скоростей света в обоих направлениях. В частности, предположим вопреки факту, что с помощью Земли как медленно транспортируемых часов в процедуре Рёмера было бы обнаружено, что световой луч, идущий из A , прибывает в B не в момент времени $t'_S = (d/v_0)$, а в момент $t'_x = (d/v_0) - d/c(1-2\varepsilon)$, где ε не равно $1/2$, а равно какой-то величине между 0 и 1. Пусть $\vartheta \equiv d/c(2\varepsilon - 1)$, так что мы можем записать $t'_x = d/v_0 + \vartheta$. Следует помнить, что не существует таких фактов, которые принуждали бы нас рассматривать одновременность, подразумеваемую при установлении синхронности путем медленной транспортировки часов, как «истинную». Тогда в «мире $\# 1$ » мы свободны гарантировать равенство скоростей света туда и обратно, выбирая такую временную метрику на мировых линиях прохождения светом пути туда-обратно, которая приписывала бы равные меры длительности тем парам событий, разности координат которых предполагаются теперь равными $t'_x - t_1$ и $t_3 - t'_x$. Это может быть сделано путем выбора двух любых не обращающихся в нуль множителей M и N , таких, что время прохождения отбывающего светового луча $M(t'_x - t_1)$ равно времени прохождения прибывающего светового луча $N(t_3 - t'_x)$. И ясно, что необходимое условие временной эквидистантности

$$M \left(\frac{d}{c} + \vartheta \right) = N \left(\frac{d}{c} - \vartheta \right)$$

легко может быть удовлетворено, принимая $M = \frac{1}{2\varepsilon}$, а $N = \frac{1}{2(1-\varepsilon)}$, что и делает E' одновременным с E .

§ 5. Заключение

Обсудим теперь философский статус одновременности в специальной теории относительности, рассматривая а) ситуацию, когда отсутствуют ссылки на установление синхронизации путем медленной транспортировки часов, и б) измененную ситуацию, которая возможна в том случае, когда пригодны и синхронизация с помощью медленной транспортировки часов, и синхронизация с помощью световых сигналов.

А. Одновременность; устанавливаемая только с помощью световых сигналов

События, принадлежащие к мировой линии единичных часов, упорядочиваются отношением каузальной промежуточности. И этот порядок промежуточности *отражается* временными координатами, которые *самопроизвольно* предоставляются часами, и это обеспечивается тем, что числа на циферблате часов обладают соответствующим *пространственным* порядком. Если бы цифры были нарисованы беспорядочно в пространственном отношении, тогда временные координаты не отражали бы более отношений каузальной промежуточности, но без ущерба для существования этих отношений. Таким образом, временные координаты, обеспечиваемые соответствующим нарисованным циферблатом часов, получают свое *порядковое значение* из объективных отношений каузальной промежуточности. Но это было *нашим* решением нарисовать циферблат определенным образом, что и допускает отражение полученными временными координатами этой объективной промежуточности. Так происходит, например, в нашем случае с событиями E_1, E', E_3 по часам U_1 .

Однако все три события E_1, E', E_3 не могут принадлежать жизненному пути единичных часов. Следовательно, никакие единичные часы не могут обеспечить такие временные координаты, которые отражали бы объективные отношения каузальной промежуточности, существующие между ними на мировой линии светового луча. Если данное отношение должно быть вообще отражено временными координатами, которые устанавливаются часами, то для этого требуется *двое* различных часов, которые установлены соответствующим образом. Подобно нашему решению нарисовать циферблат часов U_1 необходимым образом, нам следует точно так же установить вторые часы U_2 , которые удовлетворяли бы следующему требованию: полученная в результате временная координата t_2 события E' по этим часам U_2 в совокупности с временными координатами t_1 и t_3 по часам U_1 должна отражать объективную каузальную *промежуточность*, в которой E' относится к E_1 и E_3 на мировой линии светового луча.

Это требование приводит к так называемому топологическому условию для света

$$0 < \varepsilon < 1.$$

Отметим, между прочим, что это условие для света *не* следует из координативного определения временного разделения или неодновременности (см. § 2). Последнее координативное определение

предусматривает только приписывание при помощи часов различных временных чисел *любым* двум событиям, которые испытывают *симметричное* отношение каузальной связуемости. E_1 , E' и E_3 представляют собой попарно каузально связуемые события. Следовательно, попарное применение координативной дефиниции неодновременности требует только, чтобы t_2 отличалось как от t_1 , так и от t_3 . Но из этого следует, что t_2 должно быть меньше, чем t_1 , или больше, чем t_3 , то есть что $\varepsilon < 0$ или $\varepsilon > 1$. Короче говоря, координативное определение неодновременности не использует отношения причинной *промежуточности*, существующего между этими тремя событиями, чтобы приписать t_2 значение, расположенное между t_1 и t_3 , как того и требует топологическое условие для света.

Топологическое условие для света оговаривает, что U_2 должны быть установлены таким образом, чтобы приписывать событию E' любую координату t_2 , которая расположена между t_1 и t_3 . Эллис и Боумен согласны с тем, что здесь остается разрыв во временном порядке *между событием E и событиями в открытом интервале E_1 , E_3* , который оставляет простор для конвенционального установления метрической одновременности.

Б. Установление одновременности с помощью медленной транспортировки синхронизированных часов

Эллис и Боумен совершенно правы, когда подчеркивают, что медленно перемещаемые часы *дают нам уникальную* временную координату t'_S оптического события E' , в то время как сам световой луч не дает такой координаты, если мы не обусловим ее. Однако далее они говорят нам, что существование произвольно установленной координаты t'_S составляет «физическое основание», чтобы рассматривать E' по сути временного порядка как уникально одновременное с E . И если бы последнее утверждение было обоснованно, тогда, чтобы установить величину $t_2 = t'_S$ по часам U_2 после свершения события E' , было бы только вопросом допущения, что U_2 обнаруживают эту фактуально «истинную» одновременность. Таким образом, Эллис и Боумен утверждают, что поведение часов при медленной транспортировке на самом деле ликвидирует разрыв во временном порядке, оставленный топологическим условием для света. Однако наш анализ был направлен на то, чтобы подробно показать, что именно это центральное для них заключение является необоснованным. Таким образом, они потерпели неудачу в своей попытке опровергнуть тезис о том, что метрическая одновременность в специальной теории относительности является конвенциональной в римановом смысле.

I

Проблемы пространства и времени принадлежат к числу весьма важных и фундаментальных проблем физико-математического знания. Однако следует отметить, что во всей своей полноте они не могут быть решены средствами одних лишь физико-математических наук. Эти проблемы многогранны. Они, как, впрочем, и многие другие проблемы, возникающие в рамках физико-математических наук, характеризуются не только специальными математическими и физическими, но и философскими аспектами, что определяет необходимость их философского анализа.

Предлагаемая советскому читателю книга известного американского философа А. Грюнбаума «Философские проблемы пространства и времени» представляет собой капитальный труд, посвященный исследованию философских аспектов физико-математического учения о пространстве и времени. В задачу настоящего послесловия не входит подробный анализ сущности всех рассматриваемых в книге проблем, равно как и их решений, хотя во многих случаях точка зрения автора представляется по меньшей мере дискуссионной. Мы ограничимся рассмотрением и критической оценкой двух концепций Грюнбаума, являющихся основными для его книги, — геохронометрического конвенционализма и так называемой статической теории времени, причем таких их пунктов, в которых эти концепции вызывают наибольшие сомнения.

II

Концепция геохронометрического конвенционализма занимает в книге Грюнбаума центральное место. Ей специально посвящена первая глава. Кроме того, она пронизывает собой содержание последующих разделов книги, выступая в качестве методологи-

ческой основы решения целого комплекса философских проблем физики и геометрии.

В чем состоит сущность и философская значимость этой концепции? Грюнбаум формулирует ее в связи с проблемами, с которыми сталкивается геохронометрия при измерении математически непрерывного пространства и времени. Он отмечает, что проблемы измерения пространства и времени оказываются существенно различными по своему содержанию и способам решения для случаев, когда они дискретны и когда они континуальны. У дискретного пространства и времени имеются привилегированные единицы их измерения — элементарные длины и временные интервалы, являющиеся, так сказать, «атомами» пространства и времени. Процедура измерения здесь сводится к пересчету элементарных длин и временных интервалов. Таким образом, метрическое описание дискретного пространства и времени однозначно предписывается их структурой.

Совершенно иная картина наблюдается при измерении непрерывного пространства и времени. Пространство и время, рассматриваемые как математически непрерывные многообразия, сами по себе лишены внутренне присущей им метрики. Измерение непрерывного пространства предполагает обращение к внешнему телу, которое должно выполнять функции метрического стандарта. Такой стандарт не является единственным. «Непрерывность физического пространства,— пишет Грюнбаум,— предполагает *неограниченный* конвенциональный выбор единицы длины» (стр. 19).

Но проблема измерения не сводится только к простому выбору метрического стандарта. Процедура измерения состоит в перемещении измерительного стандарта вдоль измеряемого интервала. Для ее осуществления необходимо, чтобы метрический стандарт был самоконгруэнтным, то есть сохраняющим одинаковую длину при различных ориентациях и в различных местах измеряемого интервала. Самоконгруэнтность метрического стандарта, равно как и конгруэнтность двух различных непересекающихся интервалов — интервалов, из которых ни один не составляет части другого,— не вытекает из природы самого непрерывного пространства. Они устанавливаются путем конвенции.

Конвенционалистская трактовка конгруэнтности составляет наиболее существенный элемент концепции геохронометрического конвенционализма. Грюнбаум указывает на ее неизбежность, истекающую из того, что само непрерывное пространство объективно и однозначно не определяет конгруэнтности. Конгруэнтность конвенциональна именно потому, что она объективно однозначно не определена. Грюнбаум полемизирует с Расселом, который счи-

тает, что равные отрезки существуют объективно, независимо от их измерения и что человек может лишь открыть равенство, подобно тому как Колумб открыл Америку, но не создать его процедурой измерения. На замечание Рассела об объективной сущности конгруэнтности Грюнбаум отвечает: «Если пространство гранулировано..., то логика обнаружения длины аналогична логике открытия Колумбом Америки в примере Рассела; при этом роль измеряющего стержня будет в лучшем случае чисто эпистемологической. Ибо для эпистемологических целей в случае дискретности измеряющий стержень оказывается даже несущественным, поскольку самостоятельное определение числа ячеек, или пространственных атомов, содержащихся в каждом из двух тел, будет выносить приговор их пространственной конгруэнтности до того, как любое сравнение этих тел осуществится с помощью перемещаемого стандарта конгруэнтности. Рассел не замечает, что, раз мы предполагаем непрерывность физического пространства, конгруэнтность двух линейных отрезков не может быть выведена из обладания соответствующим внутренним метрическим атрибутом... Именно сами тела или отрезки, а не их отношения пространственного равенства или неравенства существуют независимо от совпадения с ними перемещаемого стандарта конгруэнтности» (стр. 62—63).

Из геохронометрического конвенционализма Грюнбаум выводит ряд следствий относительно геометрии физического пространства и действующих в нем физических законов. Прежде всего известно, что определение конгруэнтности является существенным элементом метрических отношений непрерывного пространства. Изменение определения конгруэнтности в ряде случаев (хотя и не всегда) приводит к различным метрическим геометриям. Поскольку выбор конгруэнтности представляется вопросом конвенции, то мы свободны выбрать в качестве описания данной совокупности пространственных фактов любую метрическую геометрию, совместимую с существующей топологией. Причем ни одна из них не может считаться истинной. «Сами эмпирические факты,— пишет Грюнбаум,— не диктуют однозначно истинность либо евклидовой, либо одной из конкурирующих с ней неевклидовых геометрий в силу отсутствия у пространства внутренне присущей ему метрики» (стр. 49).

Геохронометрический конвенционализм не только санкционирует свободу выбора метрических геометрий для описания одних и тех же пространственных фактов. Из него следует и конвенционалистская трактовка физических законов, поскольку последние существенно связаны с метрикой пространства и времени.

Геохронометрический конвенционализм Грюнбаума было бы

неправильно критиковать, рассуждая примерно таким образом: конвенционализм — это разновидность субъективного идеализма, и поэтому его с самого начала следует признать как антинаучное направление. Геохронометрический конвенционализм в том виде, как его формулирует Грюнбаум, внутренне неоднороден, а потому требует дифференцированной философской оценки составляющих его элементов.

Прежде всего было бы ошибкой квалифицировать геохронометрический конвенционализм как форму идеализма за признание конвенционального момента в познании. Хотя научное познание мира, имеющее своей целью воспроизведение объективного мира таким, каков он есть на самом деле, не сводится к одним лишь соглашениям, конвенциональный момент играет в нем важную роль. Его роль особенно рельефна при описании пространственно-временной структуры мира средствами абстрактной геометрии. Сами по себе аксиомы абстрактной геометрии, в том числе и аксиомы конгруэнтности представляют собой элементы неинтерпретированного языка. В этом качестве они ничего не утверждают о геометрической структуре пространства вообще, в том числе и реального физического пространства. Для того чтобы они стали таковыми, необходимо, во-первых, выбрать удовлетворяющую им семантику, например такую, в рамках которой термин «конгруэнтность» означал бы «равенство», во-вторых, посредством определенных правил, именуемых иногда правилами соответствия, приписать интерпретированным терминам определенное физическое значение.

Выбор семантики, то есть теоретической модели, а также формулировка правил соответствия представляют в известных пределах результат конвенции. Слово «конвенция» здесь означает лишь выбор одной из многих логически допустимых интерпретаций системы аксиом. Широта этого выбора отражает степень общности аксиом абстрактной геометрии. Однако после того, как аксиомы получили свою теоретическую и конкретную физическую интерпретацию, они становятся утверждениями о физическом пространстве, имеющими фактуальное значение. Их истинность, вообще говоря, не является уже больше делом конвенции, а зависит от фактов, относящихся к самому реальному пространству.

Допущение известной конвенциональной свободы при выборе семантики и физической интерпретации аксиом, а также определений конгруэнтности само по себе еще не означает конвенционализма как философской концепции, противостоящей материалистическому учению об объективной истине. Более того, такого рода конвенциональный момент при одновременном признании решающего значения опыта, практики в проверке интерпретированных

аксиом и выбранных определений конгруэнтности вполне приемлем с точки зрения материализма. Конвенционализм как идеалистическая версия конвенции начинается с того момента, когда вопросом конвенции объявляется вопрос о фактуальной истинности данной геометрии, когда подвергается отрицанию эмпирическая детерминация геометрического описания пространственных фактов. Именно эта часть геохронометрического конвенционализма представляется нам неприемлемой.

Мы оговоримся, что наша критика тезиса Грюнбаума, утверждающего эквивалентность различных геометрических описаний одних и тех же пространственных фактов, имеет в виду лишь ту его часть, которая представляет собой трактовку физической геометрии. В случае абстрактных математических пространств различные геометрии действительно оказываются эквивалентными и ставить вопрос о том, какая из них является истинной в материальном смысле, неправомерно. Вообще надо заметить, что в рамках абстрактной математики проблема истины чаще всего ставится не в плане прямого соответствия фактам объективного мира, а в плане формальной истины, то есть непротиворечивости. Но то, что допустимо на абстрактно-математическом уровне, отнюдь не обязательно должно выполняться на уровне «физической математики».

Нельзя сказать, что концепция геохронометрического конвенционализма, включающая в себя вышеупомянутый элемент, который квалифицирован нами как уступка идеализму, проводится в книге Грюнбаума достаточно последовательно. В первой главе Грюнбаум недвусмысленно дает понять, что геохронометрический конвенционализм есть нечто вроде абсолютного конвенционализма. Вообще говоря, он декларирует возможность и необходимость фактуальной проверки геометрических аксиом после того, как термин «конгруэнтность» получил значение детализированного равенства. Более того, он пытается найти объективную основу для своего тезиса о конвенционалистской свободе выбора определений конгруэнтности. Например, на стр. 42 он пишет: «Тезис о конвенциональном характере конгруэнтности в первую очередь есть утверждение, относящееся к *структурным свойствам физического пространства и времени*». Но вывод из этой проверки таков: эмпирические факты, относящиеся к непрерывному пространству, не в состоянии решить вопрос в пользу какого-либо определения конгруэнтности. А метрическая аморфность пространства и есть объективная основа практически неограниченного конвенционализма в вопросах определения конгруэнтности, метрики и связанных с ними физических законов.

Однако надо отметить, что в целом ряде других мест Грюн-

баум критикует абсолютный конвенционализм и высказывается в защиту точки зрения, согласно которой мы можем решить, причем даже сепаратно, вопрос об истинности той или иной геометрии. Хотя и здесь понятие истины Грюнбаум употребляет не в смысле описания фактов такими, какие они есть, а в узком операциональном смысле. Это делает концепцию Грюнбаума внутренне противоречивой. Указанное противоречие особенно бросается в глаза, если мы сопоставим первую и четвертую главы книги.

Геохронометрический конвенционализм в своей крайней формулировке основывается на ряде гипотез, которые представляются нам ошибочными. Во-первых, Грюнбаум отождествляет реальное физическое пространство и время с математически непрерывными многообразиями. Основанием для этого является, видимо, то обстоятельство, что физические теории, описывающие реальное физическое пространство и время, используют для этой цели классическую математику. Однако не секрет, что многие математические понятия употребляются в своей идеализирующей функции и им не соответствует точный эквивалент в реальном мире. В связи с этим небезынтересно привести точку зрения на этот счет Гильберта и Бернайса, которые отмечают, что в науках «мы преимущественно имеем дело с теориями, которые не воспроизводят полностью действительного положения вещей, а являются упрощающей идеализацией этого положения вещей, в чем и состоит их значение»¹. Есть все основания полагать, что конструкции физического пространства и времени Грюнбаума, понимаемые как непрерывные многообразия в строгом математическом смысле, есть не что иное, как объективизированные абстракции.

Во-вторых, Грюнбаум считает, что отношение пространственной и временной конгруэнтности и связанная с ним метрика могут быть определены только непосредственно, как это имеет место в дискретных пространственно-временных многообразиях. Он не допускает мысли о косвенной проверке привнолегирированной метрики пространства-времени на основе связанных с ней физических законов. Это в свою очередь объясняется тем, что под физическими законами он, по существу, понимает лишь математические соотношения, в которые укладываются физические факты.

Такое понимание физического закона наиболее полно выражено Грюнбаумом в его сравнении двух динамик, приведенном во второй главе. Грюнбаум видит суть физических законов в их кинематической стороне, считая, что динамическая сторона является восторстенной и ею можно жертвовать при переформулировке

¹ D. Gilbert und P. Bernays, Grundlagen der Mathematik, Bd. VI, 1944, S. 2—3.

физической теории на основе новой шкалы измерения. Он, в частности, пишет: «Только предубеждение заставляет требовать, чтобы любая формулировка теории, которую следует рассматривать как приемлемую, должна находиться в согласии с обычной теорией, рассматривая ускорение тела в любой данный момент времени одинаковым во всех галилеевых системах отсчета («галилеева относительность»). Ибо никакой единичный *bona fide* физический факт в ньютоновом мире не отбрасывается и не отвергается кинематикой, которая не обладает этой галилеевой относительностью» (стр. 90). И далее: «При разработке теории, объясняющей механические явления, обеспечение динамического базиса для всех ускорений не следует рассматривать как *неизбежное эпистемологическое требование*» (стр. 91).

Исходя из кинематических соображений, Грюнбаум говорит об эквивалентности двух динамик, хотя законы этих динамик существенно различны, а в динамике альтернативной ньютоновской не выполняются законы причинности и сохранения. Не вдаваясь в детали, заметим, что динамика, основанная на геоцентрической шкале времени, столь же эквивалентна ньютоновской динамике, сколь птолемеевская геоцентрическая система мира «эквивалентна» коперниковской (причем в рамках нерелятивистской картины мира).

С трактовкой физического закона, которой придерживается Грюнбаум, согласиться нельзя. Физические законы (законы физической теории) не сводятся к чисто логическим схемам, упорядочивающим факты. Они являются формами отображения определенной реальности — законов природы, законов объективного мира. Последние не менее реальны, чем те физические явления, связь между которыми они выражают, или чем те физические процессы, ход которых они детерминируют. Цель науки состоит не в произвольном конструировании физических законов, а в таком их построении, при котором они наиболее полно и точно отражают сам физический мир.

Если мы будем придерживаться точки зрения, согласно которой физическому закону соответствует некоторый реальный аналог в физическом мире, то мы можем разрубить гордиев узел тех логических трудностей, выражением мнимой неразрешимости которых и является геохронометрический конвенционализм. Такая философская концепция закона дает возможность выделить привилегированную метрику и связанный с ней класс конгруэнтностей даже в том случае, когда в отношении реального физического пространства и времени принимается идеализация их математической непрерывности. Известно, что физические законы связаны

с определенной метрикой пространства и времени. Точнее говоря, математические формулировки законов связаны с определенными группами преобразований, которые задают определенную метрику. Законы ньютоновской механики связаны с евклидовостью пространства, законы специальной теории относительности — с его псевдоевклидовостью и т. д. Через эту связь физические законы выделяют привилегированную метрику и соответствующее ей определение конгруэнтности. Таким образом, привилегированная метрика в случае непрерывного пространства и времени также может быть выделена, хотя и окольным путем.

Особого упоминания заслуживает характеристика Грюнбаумом отношения к конвенционализму Пуанкаре и Эйнштейна. Нам представляется, что Грюнбаум модернизирует взгляды Пуанкаре на роль конвенции в описании реального физического пространства. Точка зрения Пуанкаре на этот счет не отличается последовательностью. В ряде своих высказываний он выступает как приверженец крайнего конвенционализма, который нельзя квалифицировать иначе, как разновидность идеалистической концепции истины. Известно, что философские взгляды Пуанкаре были подвергнуты критике В. И. Лениным, который, в частности, отметил их противоречивость, состоящую в эклектическом соединении идеализма конвенционалистского типа с материализмом¹. Вопреки фактам Грюнбаум пытается затушевать эту противоречивость и в итоге приходит к такой версии философских взглядов Пуанкаре, в которой от его абсолютного конвенционализма, по существу, не остается и следа.

Значительно менее благожелательной является характеристика Грюнбаумом взглядов Эйнштейна, которую он дает в главе четвертой. Хотя в этой главе читатель не найдет отрицания конкретных научных результатов, полученных Эйнштейном, он обнаружит серьезные искажения его философской концепции. Если верить Грюнбауму, то получается, что Эйнштейн является крайним конвенционалистом дюгемианского типа, отрицающим эмпирическую проверку физической геометрии и допускающим абсолютизацию любой априорной геометрии за счет произвольного изменения физической теории. Поводом для подобной оценки взглядов Эйнштейна явились два обстоятельства. Во-первых, Эйнштейн подчеркивал, что было бы неправильно требовать от теории непосредственной проверки каждого из ее утверждений. Он писал: «В действительности же еще ни одна теория не смогла удовлетворить этим требованиям, и им

¹ См.: В. И. Л е н и н, Материализм и эмпириокритицизм, гл. 5, § 6.

вообще невозможно удовлетворить. Для того чтобы какую-нибудь теорию можно было бы считать физической теорией, необходимо лишь, чтобы вытекающие из нее утверждения в принципе допускали эмпирическую проверку»¹. Грюнбаум истолковывает это таким образом, будто Эйнштейн отрицает сепаратную эмпирическую проверку геометрического элемента физической теории. Во-вторых, в своей работе «Замечания к статьям», отрывок из которой процитирован нами, Эйнштейн приводит критику Рейхенбахом конвенционалистской концепции Пуанкаре. Это он делает в виде диалога Рейхенбаха и Пуанкаре, в котором Рейхенбах отстаивает возможность сепаратной эмпирической проверки физической геометрии, а Пуанкаре придерживается крайнего конвенционализма в отношении выбора геометрического описания реального пространства. Грюнбаум произвольно приписывает точку зрения Пуанкаре Эйнштейну.

С изложенной оценкой взглядов Эйнштейна и его отношения к конвенционализму согласиться никак нельзя. Прежде всего необходимо отметить, что тезис о глобальной проверке теории направлен против операционализма Бриджмена, требующего операциональной проверки каждого утверждения науки и отказывающегося принимать как осмысленные те утверждения, которые такой проверки не допускают. Принятие этого принципа явилось бы сильным ограничением, накладываемым на науку, против чего Эйнштейн, собственно говоря, и выступал.

Что же касается приписывания Эйнштейну точки зрения Пуанкаре, то это не вытекает из текста, на который ссылается Грюнбаум. Более того, из него нетрудно уловить сочувственное отношение Эйнштейна к альтернативной конвенционализму концепции². То, что Эйнштейн придерживался именно такой антиконвенционалистской точки зрения, следует не только из нашей интерпретации упомянутой статьи, но и из философского подтекста исследований Эйнштейна в области общей теории относительности, сущность которой сводится к решению проблемы геометрии пространства-времени в соответствии с реальными физическими фактами.

III

В своей книге Грюнбаум развивает концепцию времени, которую мы условно назовем «статической». Ее характерными чер-

¹ А. Эйнштейн, Замечания к статьям, «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 306.

² См. вышеупомянутую работу.

тами являются отказ считать временные отношения «раньше» и «позже» всеобщими атрибутами реального времени и отрицание становления как объективной сущности временного процесса. Рассмотрим эту концепцию подробнее.

Согласно достаточно широко распространенной точке зрения, сущность времени заключается в упорядоченности событий временными отношениями «раньше» и «позже». Такое понимание времени является отражением эмпирических фактов и в логически осмысленной форме составляет основу временной концепции всех наук, в том числе и физики. Однако Грюнбаум не признает эту трактовку адекватной природе реального времени. Он строит свою теорию времени, которая зиждется на иных основаниях, чем вышеупомянутая концепция.

Одним из мотивов, побудивших Грюнбаума осуществить пересмотр традиционной концепции времени является, как он полагает, ее неполнота, выражающаяся в том, что в ее рамки не укладывается конструкция замкнутого времени. Действительно, если считать, что сущность времени заключается в упорядоченности событий отношениями «раньше» и «позже», то время по своей природе является топологически открытым. Конструкция замкнутого времени несовместима с таким пониманием времени: в ней не выполняются аксиомы, выражающие временной порядок, определяемый отношениями «раньше» и «позже».

Конструкция замкнутого времени многим представлялась спекулятивной идеей, не имеющей отношения к физике до тех пор, пока она не была получена в рамках самой физики. В 1949 году австрийский математик Гёдель получил в качестве решения релятивистских гравитационных уравнений космологическую модель, некоторые временноподобные линии которой являются замкнутыми¹. Известна также релятивистская космологическая модель — модель де Ситтера, — полученная для случая отрицательной космологической постоянной, линии времени которой замкнуты². В связи с упомянутыми фактами встал вопрос о том, как следует к ним относиться.

Данный вопрос обсуждался рядом крупных физиков нашего времени, в том числе и Эйнштейном. Небезынтересно отметить, что Эйнштейн считал более важным для физики лежащую в основе ее традиционную концепцию времени. Поэтому противоречия между этой концепцией и конструкцией замкнутого времени он склонен

¹ К. Г ö d e l, «Reviews of Modern Physics», 27, 1949.

² См.: Д ж. С и н г, Общая теория относительности, М., 1963, стр. 221.

был разрешить в пользу первой. Так, по поводу уже упоминавшейся модели Гёделя он писал: «Было бы интересно выяснить, не следует ли такие решения исключать из рассмотрения на основе физических соображений»¹.

Подход Грюнбаума к поставленной проблеме диаметрально противоположен. Он считает, что противоречие должно быть разрешено путем обобщения самой концепции времени. И Грюнбаум достигает, как ему кажется, этой цели путем исключения отношений «раньше» и «позже» из числа всеобщих атрибутов времени, постулируя в качестве основного временного отношения некоторое специализированное отношение «между», нейтральное к конструкциям замкнутого и открытого времени.

Насколько правомерен путь, избранный Грюнбаумом? Вообще говоря, путь обобщения научных понятий имеет свою привлекательность. Научному познанию свойственна такая тенденция. Она проявляется, в частности, в том, что во многих случаях при обнаружении ограниченности какого-либо понятия оказывается возможным и целесообразным обобщить это понятие и таким путем расширить область его применения. Эту тенденцию можно проследить в развитии понятий числа, пространства и др.

Однако процедура обобщения понятий может иметь рациональный смысл только при условии ряда ограничений, накладываемых на нее. Во-первых, обобщение понятия так или иначе связано с исключением признаков, характеризующих его содержание. Набор этих признаков конечен. Поэтому и процедура обобщения данного понятия путем исключения признаков также имеет свои естественные пределы. Во-вторых, признаки, входящие в содержание понятия, неравнозначны. Среди них есть выделенные признаки; признаки-доминанты, исключение которых лишает данное понятие его рационального содержания даже при сохранении у него непутого остатка других признаков.

Отнюдь нетривиальным является вопрос о том, до каких границ возможно обобщение понятия времени, осуществляемое таким образом, чтобы оно не потеряло своего рационального значения. Если мы обратимся к развитию физических представлений о времени, то обнаружим, что понятие времени подверглось целому ряду обобщений, которые в конечном счете сделали его применимым как к необратимому, так и обратимому, к непрерывному и дискретному, к ньютоновскому и релятивистскому времени. Но во всех этих обобщениях не затрагивались временные отношения «раньше».

¹ А. Эйнштейн, Замечания к статьям, «Собрание научных трудов», т. IV, стр. 314.

и «позже», которые сохраняли значение атрибутов времени.

Грюнбаум считает обобщение понятия времени путем исключения из него признака временного порядка, основанного на отношениях «раньше» и «позже», и санкционирования в качестве основного временного отношения специализированного отношения «между» не только возможным, но и необходимым. Однако такое далеко идущее обобщение понятия времени, как нам кажется, лишает его рационального смысла. Если подойти к понятию времени с точки зрения его генезиса, то нетрудно установить, что оно было введено именно для фиксации различий между явлениями, одно из которых происходит раньше другого. В этом заключается основной эпистемологический смысл понятия времени, которое играет роль альтернативы понятия пространства, призванного фиксировать события, лишённые временных различий, то есть происходящих одновременно.

Теория Грюнбаума является одним из вариантов причинных теорий времени. Понятие времени в ней вводится на основе понятия причинных цепей. Надо заметить, что сама по себе попытка установить связь временного порядка с причинным не лишена смысла. Нет никакого сомнения, что причинный и временной порядки представляют собой два связанных между собой аспекта движения и развития. Весь вопрос в том, каков характер этой взаимосвязи.

Известно, что попытки вывести время из причинности, принятые некоторыми философами, в частности Рейхенбахом, оказались неудачными по причине логического круга. Причинный порядок в его традиционном понимании предполагает время: в определении причины входит то, что она происходит раньше следствия, а следствие соответственно позже, чем причина. Грюнбаум отдаёт отчет в том, что в рамках изложенной трактовки причинности этот круг неизбежен. Для того чтобы избежать его, он пытается применить понятие причинности таким образом, чтобы оно оказывалось свободным от временных отношений «раньше» и «позже». С этой целью он постулирует в качестве базисных симметричные причинные отношения, которые, по его мнению, не предполагают временного порядка.

Симметричные причинные отношения Грюнбаум иллюстрирует на примере качения шара по полу комнаты вдоль траектории, соединяющей точки P и P' . Периодические качения шара от P к P' и обратно таковы, что мы не можем «сказать об одном из двух причинно связанных событий, что именно «это» событие есть причина, и именно «это» — следствие» (стр. 239). Ибо, отмечает Грюнбаум, «обозначение из двух событий именно «этого» как причины зависит от признания того, что данное событие произошло *раньше*

другого, и при отсутствии необратимых процессов эта характеристика выражает не объективное физическое отношение, которое может подтвердить это высказывание, а только соглашение о том, что данному событию приписывается меньшая величина времени» (стр. 239).

Симметричная причинная цепь может быть определена, следуя терминологии Рейхенбаха, как серия генетически тождественных событий. Генетически тождественные события представляют собой состояние одной и той же вещи в различные моменты времени. Следовательно, время в симметричных причинных цепях все же предполагается. Но временные различия между событиями не связаны, по мнению Грюнбаума, с отношениями «раньше» и «позже», так как для реализации последних необходимы, как он утверждает, необратимые процессы.

Нам представляется, что этот отрыв различий событий во времени от порядковых временных отношений необоснован. Между ними существует прямая связь. Различие двух событий по значениям времени является свидетельством того, что одно из событий имело место раньше другого. Это различие, выраженное числом, является количественной характеристикой отношения «раньше» и «позже» для определенных событий. Здесь имеется прямая аналогия между временными порядковыми отношениями и отношениями «меньше» и «больше» в теории чисел.

Отношения «раньше» и «позже» не связаны жестко с необратимыми процессами. Они, как нам думается, имеют место и в процессах, которые, будучи потенциально обратимыми, в то же время осуществляются в определенном фактически заданном временном порядке. Объективное различие между ранними и поздними событиями здесь раскрывается в самом движении, понимаемом как некоторый процесс, характеризующийся тем, что раннее событие имеет место тогда, когда позднее еще не наступило.

Стремление связать порядковые временные отношения только с необратимыми процессами в значительной мере продиктовано отрицанием Грюнбаумом объективного статуса становления. В своей книге он подвергает критике концепцию, согласно которой становление выражает самую суть времени. Грюнбаум отказывается считать, что становление является свойством самого физического мира. «Становление, — пишет он, — зависит от сознания потому, что оно не является атрибутом физических событий *per se*, но требует осуществления определенного *концептуального осознания переживаний*, происходящих физических событий» (стр. 384).

Структура становления значительно меньше исследована в научной философской литературе, чем структура причинности.

Видимо, в ее трактовке есть элементы «наивного реализма», на что обращает внимание Грюнбаум. Но нам представляется неправомерной точка зрения, которая целиком сводит становление к области субъективного восприятия.

IV

Книга Грюнбаума не сводится к изложению и обоснованию геохронометрического конвенционализма и «статической» теории времени. В ней рассматривается широкий круг философских проблем пространства и времени, решение которых выходит за рамки упомянутых концепций.

Заслуживает внимания анализ апории Зенона о метрической протяженности для случая континуума пространства и времени, данный Грюнбаумом в главе шестой. Зенон считал, что конечная или бесконечная сумма так называемых безразмерных величин равна нулю. Он усматривал противоречие в том, что метрически конечный отрезок допускает разложение на бесконечное множество безразмерных точек. Применяя идеи канторовской теории множеств, Грюнбаум показывает, что в действительности здесь никакого противоречия нет. С точки зрения теории множеств два утверждения — «отрезок A метрически конечен» и «отрезок A представляет собой множество точек, обладающее мощностью континуума» — логически совместимы.

Видимо, следует признать правильным решение изложенной апории для случая абстрактного математического пространства и времени. Значительно менее очевидной является правомерность экстраполяции этого решения на реальное физическое пространство и время. Здесь, как и при обосновании геохронометрического конвенционализма, Грюнбаум онтологизирует свойства математически континуального пространства и не учитывает, что при описании физической реальности это понятие употребляется в своей идеализирующей функции¹.

Интересен и подход Грюнбаума к решению проблемы направления времени. Грюнбаум вполне справедливо различает двоякого рода основания необратимости физических процессов и анизотропии времени — основания термодинамического характера (закон возрастания энтропий) и наличие некоторых фактически заданных начальных и граничных условий, которые обуславливают практическую необратимость физических процессов и времени даже в тех случаях, когда сами законы симметричны по отношению знака времени.

¹ См. также: Ю. А. Петров, Логические проблемы абстрактной бесконечности и осуществимости, «Наука», М., 1967.

Надо отметить, что идеи такого плана развиваются и в работах советских физиков и философов, которые внесли значительный вклад в решение проблемы направления времени. В этой связи полезно привести выдержку из книги Я. Б. Зельдовича и И. Д. Новикова «Релятивистская астрофизика», в которой говорится следующее: «По мнению авторов, принципиально неправильны попытки связать направление времени только с теми или иными конкретными и сложными явлениями. Различие между прошлым и будущим существует в любом процессе, в том числе и в системе, состоящей из двух частиц... В качестве возражения последнему утверждению обычно выдвигают обратимость законов — возможность замены t на $-t$ в уравнениях.

Однако для решения уравнений нужно, кроме уравнений, задать начальные условия. В теории, в которой рассматривается поле (для определенности электромагнитное), мы задаем условие излучения, которое несимметрично относительно прошлого и будущего...»¹

Приведенный перечень проблем, решения которых заслуживают в целом положительной оценки, неполон. Сюда относится комплекс философских проблем теории относительности, в особенности проблемы одновременности в специальной теории относительности и многие другие. Как положительный момент следует отметить и то, что в книге Грюнбаума подвергаются убедительной критике философские концепции, которые могут быть квалифицированы как идеалистические и метафизические.

Мы рассмотрели точку зрения Грюнбаума на решение некоторых конкретных философских проблем физико-математического учения о пространстве и времени. Какова общая философская позиция автора книги? Сам Грюнбаум, видимо, отдавая дань неопозитивизму, который является влиятельным философским направлением в странах Западной Европы и Америки, не употребляет термины «материализм» и «идеализм». Однако он недвусмысленно дает понять, что его философские симпатии на стороне материализма. Так, в частности, Грюнбаум отмечает, что при решении вопроса о времени он опирается «на точку зрения философского натурализма, согласно которой человек представляет собой часть природы, и те свойства его сознания, которые обязаны быть изоморфными или же подобными свойствам, приписываемым неодушевленному физическому миру, должны объясняться с помощью законов и атрибутов, которыми обладает мир, не зависящий от человеческого сознания» (стр. 242—243).

¹ Я. Б. З е л ь д о в и ч, И. Д. Н о в и к о в, Релятивистская астрофизика, «Наука», М., 1967, стр. 594.

Приведенное высказывание не просто декларация. Грюнбаум действительно стремится дать, а в целом ряде случаев и дает материалистическое решение философских проблем пространства и времени. Это находит свое выражение в признании объективности пространства и времени, их связи с материей, в стремлении вывести свойства пространства и времени из природы физического субстрата, в материалистической интерпретации специальной теории относительности и критике ее операционалистской версии. Однако надо отметить и то, что материалистическая точка зрения не проводится Грюнбаумом последовательно. Нами уже отмечались отступления Грюнбаума от материализма, состоящие в преувеличении роли конвенции в описании геометрии реального пространства и времени, в сведении физических законов к их кинематическому аспекту и отрицании их динамической основы и т. д.

Подведем итог нашего критического обзора. Книга Грюнбаума является обстоятельным исследованием философских проблем пространства и времени. Ценность книги состоит в том, что она вводит читателя в курс сложнейших философских проблем физико-математического знания, знакомит его с различными подходами к их решению. В ней приводится богатейший материал из различных областей знания — математики, логики, физики, космологии, биологии, психологии и философии, критически анализируется большое число философских работ, изданных преимущественно в Америке и в странах Западной Европы.

Но книга Грюнбаума — это не философский справочник по проблемам пространства и времени. Автор пытается найти свои решения рассматриваемых проблем. Не все эти решения безупречны в философском отношении, а некоторые из них и просто ошибочны. Однако там, где автор подходит к проблемам с позиций материализма, он получает интересные результаты, являющиеся шагом вперед в их решении.

Э. Чудинов

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

- A h a r o n i J., The Special Theory of Relativity. Oxford: Oxford University Press, 1959.
- А х и е з е р Н. И., Лекции по вариационному исчислению, Гос-техиздат, М., 1955.
- «Полемика Г. Лейбница и С. Кларка», Изд-во ЛГУ, Л., 1960.
- A l e x a n d e r H. L., Reactions with Drug Therapy, Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1955.
- A r i s t o t l e, «On Generation and Corruption», Book I, Ch. ii. 316a 15—317a—17.
- B a k e r B. and E. T. C o r p s o n, The Mathematical Theory of Huyghens's Principle, Oxford: Oxford University Press, 1939.
- B a l d u s R., Nichteuklidische Geometrie, Edited by F. Löbell, Third revised edition, Berlin: Walter de Gruyter and Co., 1953, «Sammlung Götschen», Vol. CMLXX.
- B a r a n k i n E. W., Heat Flow and Non-Euclidean Geometry. «American Mathematical Monthly», Vol. XLIX (1942).
- B a r u c h J. J., Horological Accuracy: Its Limits and Implications, «American Scientist», Vol. XLVI (1958).
- B a u m W. A., Photoelectric Test of World Models, «Science», Vol. CXXXIV (1961).
- B e l l E. T., The Development of Mathematics, New York: McGraw-Hill Book Co., 1955.
- B e r g m a n n G., Review of M. Born's «Natural Philosophy of Cause and Chance», «Philosophy of Science», Vol. XVII (1950).
- B e r g m a n n H., Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik, Braunschweig: F. Vieweg and Son, 1929.
- Б е р г м а н П., Введение в теорию относительности, ИЛ, М., 1947.
- B e r g m a n n P., Fifty Years of Relativity, «Science», Vol. CXXIII 1956.
- Б е р г с о н А., Творческая эволюция, Собр. соч., изд. 2-е, т. I, СПб, 1913.
- Б е р г с о н А., Материя и память, СПб., 1911.
- B e r g s t r a n d E., Determination of the Velocity of Light, «Handbuch der Physik», Edited by W. Flügge, Berlin: J. Springer, 1956, Vol. XXIV.

- Беркли Д., Трактат о началах человеческого знания, СПб, 1905.
- Bir k h o f f C. D., The Origin, Nature and Influence of Relativity, New York: The Macmillan Co., 1925.
- Black M., The 'Direction' of Time, «Analysis», Vol. XIX (1959).
- Black M., Review of G. J. Whitrow's «The Natural Philosophy of Time», «Scientific American», Vol. CCVI (1962).
- Blank A. A., Analysis of Experiments in Binocular Space Perception, «Journal of the Optical Society of America», Vol. XLVIII (1958).
- Blank A. A., Axiomatics of Binocular Vision. The Foundations of Metric Geometry in Relation to Space Perception, Ibid.
- Blank A. A., The Geometry of Vision, «The British Journal of Physiological Optics», Vol. XIV (1957).
- Blank A. A., The Luneburg Theory of Binocular Perception, «Psychology, A Study of a Science», Edited by S. Koch, New York: McGraw-Hill Book Co., 1958, Study I, Vol. 1.
- Blank A. A., The Luneburg Theory of Binocular Visual Space, «Journal of the Optical Society of America», Vol. XLIII (1953).
- Blank A. A., The non-Euclidean Geometry of Binocular Visual Space, «Bulletin of the American Mathematical Society», Vol. LX (1954).
- Blatt J. M., Time Reversal, «Scientific American» (August 1956).
- Blum H. F., Time's Arrow and Evolution, Second edition, Princeton: Princeton University Press, 1955.
- Бом Д., Квантовая теория, Физматгиз, М., 1961.
- Bolza O., Lectures on the Calculus of Variations, New York: G. E. Stechert, 1946.
- Болцано Б., Парадоксы бесконечного, Одесса, 1911.
- Бонч-Бруевич А. М., О прямом экспериментальном подтверждении второго постулата специальной теории относительности, «Оптика и спектроскопия», т. 9, вып. I, 1960.
- Bondi H., Cosmology, Second Edition, Cambridge: Cambridge University Press, 1961.
- Bondi H., Relativity and Indeterminacy, «Nature», Vol. CLXIX (1952).
- Bonola R., Non-Euclidean Geometry, New York: Dover Publications, 1955.
- Born M., Physical Reality, «Philosophical Quarterly», Vol. III (1953).
- Born M., Natural Philosophy of Cause and Chance, Oxford: Oxford University Press, 1949.
- Boyer C. B., The Concepts of the Calculus, New York: Hafner Publishing Co., 1949.
- Braithwaite R. B., Axiomatizing a Scientific System by Axioms in the Form of Identification, в: «The Axiomatic Method», Edited by L. Henkin, P. Suppes, and A. Tarski, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1959.
- Brans C. H. and Dicke R. H., Mach's Principle and a Relativistic Theory of Gravitation, «The Physical Review», Vol. CXXIV (1961).
- Brans C. H., Mach's Principle and the Locally Measured Gravitational Constant in General Relativity, Ibid., Vol. CXXV (1962).

- Bridgman P. W., The Nature of Physical "Knowledge", в: «The Nature of Physical Knowledge», Edited by L. W. Friedrich, Bloomington: Indiana University Press, 1960.
- Bridgman P. W., Reflections of a Physicist, New York: Philosophical Library, 1950.
- Bridgman P. W., Reflections on Thermodynamics, «American Scientist», Vol. XLI (1953).
- Bridgman P. W., Some Implications of Recent Points of View in Physics, «Revue Internationale de Philosophie», Vol. III, № 10 (1949).
- Bridgman P. W., A Sophisticate's Primer of the Special Theory of Relativity, Middletown, Conn.: Wesleyan University Press, 1962.
- Бриллюэн Л., Наука и теория информации, Физматгиз, М., 1960.
- Brower C., The Accurate Measurement of Time, «Physics Today», Vol. IV (1951).
- Brown F. A., Biological Clocks and the Fiddler Crab, «Scientific American», Vol. CXC (1954).
- Brown F. A., Living Clocks, «Science», Vol. CXXX (1950).
- Brown F. A., Response to Pervasive Geophysical Factors and the Biological Clock Problem, «Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology», Vol. XXV (1960).
- Brown F. A., The Rhythmic Nature of Animals and Plants, «American Scientist», Vol. XLVII (1959).
- Burinton R. S. and Torrance C. C., Higher Mathematics, New York: McGraw-Hill Book Co., 1939.
- Callaway J., Mach's Principle and Unified Field Theory, «Physical Review», Vol. XCVI (1954).
- Cantor G., Gesammelte Abhandlungen, Edited by E. Zermelo, Berlin: J. Springer, 1932.
- Капек М., The Philosophical Impact of Contemporary Physics, Princeton: D. Van Nostrand Co., 1961.
- Carathéodory C., Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik, «Mathematische Annalen» (1909).
- Carnap R., Abriss der Logistik, Vien: J. Springer, 1929.
- Carnap R., Adolf Grünbaum on the Philosophy of Space and Time, в: «The Philosophy of Rudolf Carnap», Edited by P. A. Schilpp, LaSalle: Open Court Publishing Co., 1963.
- Carnap R., Der Raum, Berlin: Reuther und Reichard, 1922.
- Carnap R., Introduction to Symbolic Logic and Its Applications, New York: Dover Publications, 1958.
- Carnap R., Symbolische Logik, Vien: J. Springer, 1954.
- Carnap R., Über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit, «Kantstudien», Bd. XXX (1925).
- Кассирер Э., Теория относительности Эйнштейна, Гр., 1922.
- Cedarholm J. P. and Townes C. H., A New Experimental Test of Special Relativity, «Nature», Vol. CLXXXIV, № 4696 (1959).
- Chandrasekhar S. and Wright J. P., The Geodesics in Gödel's Universe, «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. XLVIII (1961).
- Cherry E. C., The Communication of Information, «American Scientist», Vol. XL (1952).

- Clemence G. M., *Astronomical Time*, «Review of Modern Physics», Vol. XXIX (1957).
- Clemence G. M., *Dynamics of the Solar System*, в: «Handbook of Physics», Edited by E. Condon and H. Odishaw, New York: McGraw-Hill Book Co., 1958.
- Clemence G. M., *Ephemeris Time*, «Astronomical Journal», Vol. LXIV (1959); «Transactions of the International Astronomical Union», Vol. X (1958).
- Clemence G. M., *Time and Its Measurement*, «American Scientist», Vol. XL (1952).
- Клиффорд В., *Здравый смысл точных наук*, Пг., 1922.
- Курант Р., *Курс дифференциального и интегрального исчисления*, Гос. техн.-теор. изд., М., 1933.
- Курант Р. и Роббинс Г., *Что такое математика? Элементарный очерк идей и взглядов*, Гостехиздат, М.—Л., 1947.
- Крамер Г., *Математические методы статистики*, ИЛ., М., 1948.
- d'Abro A., *The Evolution of Scientific Thought from Newton to Einstein*, New York: Dover Publications, 1950.
- Davies R. O., *Irreversible Changes: New Thermodynamics From Old*, «Science News», № 28 (May 1953).
- de Beauregard O. C., *Complémentarité et Relativité*, «Revue Philosophique», Vol. CXLV (1955).
- de Beauregard O. C., *L'Irréversibilité Quantique Phénomène Macroscopique*, «Louis de Broglie, Physicien et Penseur», Paris: Albin Michel, 1953.
- de Beauregard O. C., *Théorie Synthétique de la Relativité Restreinte et des Quanta*, Paris: Cauthier-Villars, 1957.
- Dedekind R., *Essays on the Theory of Number*, Chicago: Open Court Publishing Co., 1901.
- Дедекинд Р., *Непрерывность и иррациональные числа*, Одесса, 1894.
- Дедекинд Р., *Что такое числа и для чего они служат?*, Казань, 1905.
- Dicke R. H., *Mach's Principle and Invariance under Transformation of Units*, «Physical Review», Vol. CXXV (1962).
- Dicke R. H., *The Nature of Gravitation*, «Science in Space». Edited by L. V. Berkner and H. Odishaw, New York: McGraw-Hill Book Company, 1961.
- Dingle H., *Falsifiability of the Lorentz-Fitzgerald Contraction Hypothesis*, «The British Journal for the Philosophy of Science», Vol. X (1959).
- Dingle H., *The Sources of Eddington's Philosophy*, London: Cambridge University Press, 1954.
- Dingler H., *Die Rolle der Konvention in der Physik*, «Physikalische Zeitschrift», Vol. XXIII (1922).
- Driesch H., *Philosophische Gegenwartsfragen*, Leipzig: E. Reinicke, 1933.
- du Bois-Reymond P., *Die Allgemeine Funktionentheorie*, Tübingen: Lauppische Buchhandlung, Vol. I (1882).
- Дюгем П., *Физическая теория, ее цель и строение*, «Образование», СПб., 1910.
- Eddington A. S., *The Nature of the Physical World*, New York: The Macmillan Co., 1928.

- Эддингтон А. С., Пространство, время и тяготение, Одесса, 1923.
- Edel A., Aristotle's Theory of the Infinite, New York: Columbia University Press, 1934.
- Ehrenfest P., In What Way Does It Become Manifest In The Fundamental Laws of Physics That Space Has Three Dimensions? «Proceedings of the Amsterdam Academy», Vol. XX (1917).
- Ehrenfest P. and T., Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik, «Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften», IV, 2, II.
- Эйнштейн А., К электродинамике движущихся тел, «Собрание научных трудов», т. I, «Наука», М., 1965.
- Эйнштейн А., О развитии наших взглядов на сущность и структуру излучения, там же, т. III.
- Эйнштейн А., О влиянии силы тяжести на распространение света, там же, т. I.
- Эйнштейн А., Теория относительности, там же, т. I.
- Эйнштейн А., Основы общей теории относительности, там же, т. I.
- Эйнштейн А., Принципиальное содержание общей теории относительности, там же, т. I.
- Эйнштейн А., Сущность теории относительности, там же, т. II.
- Эйнштейн А., Геометрия и опыт, там же, т. II.
- Эйнштейн А., Автобиографические заметки, там же, т. IV.
- Эйнштейн А., Замечания к статьям, т. IV.
- Эйнштейн А., Предисловие к книге Макса Джеммера «Понятие пространства», там же, т. IV.
- Eisenhart L. P., Coordinate Geometry, New York: Dover Publications, 1960.
- Eisenhart L. P., An Introduction to Differential Geometry, Princeton: Princeton University Press, 1947.
- Эйзенхарт Л. П., Риманова геометрия, ИЛ, М., 1948.
- Einstein P., The Time Concept in Restricted Relativity, его же: «A Rejoinder» в: «American Journal of Physics», Vol. X (1942).
- Einstein P., Critical Appreciation of Gibbs' Statistical Mechanics, в: «A Commentary on the Scientific Writings of J. Willard Gibbs». Edited by A. Haas, New Haven: Yale University Press, 1936, Vol. II.
- Essen L. and Parry J. V. L., An Atomic Standard of Frequency and Time Interval, «Nature», Vol. CLXXVI (1955).
- Евклид, «Начала Евклида», ОГИЗ, М.—Л., 1948.
- Feuerabend P. K., Comments on Grünbaum's "Law and Convention in Physical Theory", «Current Issues in the Philosophy of Science», Edited by H. Feigl and G. Maxwell, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1961.
- Fletcher J. G., Geometrodynamics, в: «Gravitation», Edited by L. Witten, New York: John Wiley & Sons, 1962.
- Франк Ф., Философия науки, ИЛ, М., 1960.
- Fraenkel A. A., Einleitung in die Mengenlehre, New York: Dover Publications, 1946.
- Френкель А. А. и Бар-Хиллель И., Основание теории множеств, «Мир», М., 1966.
- Freudenthal H., «Mathematical Reviews», Vol. XXII (1961).

- Freudenthal H., Zur Geschichte der Grundlagen der Geometrie, «Nieuw Archief voor Wiskunde», Vol. V (1957).
- Fürth R., Prinzipien der Statistik, «Handbuch der Physik», Edited by H. Geiger and K. Scheel, Berlin: J. Springer, 1929, Vol. IV.
- Gerhardt K., Nichteuklidische Anschauung und optische Täuschungen, «Naturwissenschaften», Vol. XXIV (1936).
- Gerhardt K., Nichteuklidische Kinematographie, «Naturwissenschaften», Vol. XX (1932).
- Gerlach W., Handbuch der Physik, Berlin: Springer-Verlag, 1926.
- Gödel K., An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Equations of Gravitation, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXI (1949).
- Gödel K., A Remark About the Relationship of Relativity Theory and Idealistic Philosophy, «Albert Einstein: Philosopher-Scientist». Edited by P. A. Schilpp, Evanston: The Library of Living Philosophers, 1949.
- Gold T., The Arrow of Time, «La Structure et L'Évolution de l'Univers», Brussels: R. Stoops, 1958.
- Goodhard C. B., Biological Time, «Discovery» (December 1957).
- Goodman N., Fact, Fiction and Forecast, Cambridge: Harvard University Press, 1955.
- Grünbaum A., A Consistent Conception of the Extended Linear Continuum as an Aggregate of Unextended Elements, «Philosophy of Science», Vol. XIX (1952).
- Grünbaum A., «American Journal of Physics», Vol. XXIV (1956).
- Grünbaum A., Causality and the Science of Human Behavior, «American Scientist», Vol. XL (1952).
- Grünbaum A., The Clock Paradox in the Special Theory of Relativity, «Philosophy of Science», Vol. XXI (1954); Vol. XXII (1955).
- Grünbaum A., Complementarity in Quantum Physics and Its Philosophical Generalization, «The Journal of Philosophy», Vol. LIV (1957).
- Grünbaum A., Das Zeitproblem, «Archiv für Philosophie», Vol. VII (1957).
- Grünbaum A., Geometry and Chronometry in Philosophical Perspective, Minneapolis: The University of Minnesota Press, 1968.
- Grünbaum A., Messrs. Black and Taylor on Temporal Paradoxes, «Analysis», Vol. XII (1952).
- Grünbaum A., Modern Science and the Refutation of the Paradoxes of Zeno, «The Scientific Monthly», Vol. LXXXI (1955).
- Grünbaum A., Modern Science and Zeno's Paradoxes, London: Allen and Unwin, 1968.
- Grünbaum A., Operationism and Relativity, «The Validation of Scientific Theories», Boston: Beacon Press, 1957.
- Grünbaum A., «Philosophy of Science», Vol. XXII (1955).
- Grünbaum A., The Philosophical Retention of Absolute Space in Einstein's General Theory of Relativity, «The Philosophical Review», Vol. LXVI (1957).
- Grünbaum A., Professor Dingle on Falsifiability: A Second Rejoinder, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. XII (1961).

- Grünbaum A., Rejoinder to Feyerabend, «Current Issues In the Philosophy of Science». Edited by H. Feigl and G. Maxwell, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1961.
- Grünbaum A., Relativity and the Atomicity of Becoming, «The Review of Metaphysics», Vol. IV (1950).
- Grünbaum A., Science and Ideology, «The Scientific Monthly», Vol. LXXIX (1954).
- Grünbaum A., Science and Man, «Perspectives in Biology and Medicine», Vol. V (1962).
- Grünbaum A., «Scientific American», Vol. CLXXXIX (December 1953).
- Grünbaum A., Some Highlights of Modern Cosmology and Cosmogony, «The Review of Metaphysics», Vol. V (1952).
- Grünbaum A., Whitehead's Method of Extensive Abstraction, «The British Journal for the Philosophy of Science», Vol. IV (1953).
- Grünbaum A., Whitehead's Philosophy of Science, «The Philosophical Review», Vol. LXXI (1962).
- Hadamard J., Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equations, New Haven: Yale University Press, 1923.
- Halmos P. R., Measure Theory, New York: D. Van Nostrand Company, 1950.
- Hanson N. R., On the Symmetry Between Explanation and Prediction, «The Philosophical Review», Vol. LXVIII (1959).
- Hardy G. H., A Course of Pura Mathematics, Ninth Edition, New York: The Macmillan Co., 1945.
- Hardy L. H., Rand, G., Rittler, M. C., Blank A. A. and Boeder, P., The Geometry of Binocular Space Perception, New York: Columbia University College of Physicians and Surgeons, 1953.
- Hartshorne C. and Weiss P. (eds.), The Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Cambridge: Harvard University Press, Vol. VI, 1935.
- Hasse H. and Scholz H., Die Grundlagenkrise der griechischen Mathematik, Charlottenburg: Pan-Verlag, 1928.
- Heath T. L., Mathematics in Aristotle, Oxford: Oxford University Press, 1949.
- Hempel C. G., Deductive Nomological vs. Statistical Explanation, «Minnesota Studies in the Philosophy of Science», Vol. III. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962.
- Hempel C. G. and Oppenheim P., Studies in the Logic of Explanation, «Philosophy of Science», Vol. XV (1948).
- Hertz H., The Principles of Mechanics, New York: Dover Publications, 1956.
- Hilbert D. and Bernays P., Grundlagen der Mathematik, Berlin: J. Springer, 1934.
- Hill B. L. and Grünbaum A., Irreversible Processes in Physical Theory, «Nature», Vol. CLXXIX (1957).
- Hille E., Functional Analysis and Semi-Groups, New York: Mathematical Society Publications, 1948, Vol. XXXI.
- Hjelmslev J., Die natürliche Geometrie, «Abhandlungen aus dem mathematischen Seminar der Hamburger Universität», Vol. II (1923).

- Hoagland H., Chemical Pacemakers and Physiological Rhythms, «Colloid Chemistry», Edited by J. Alexander, New York, Vol. V (1944).
- Hoagland H., The Physiological Control of Judgments of Duration: Evidence for a Chemical Clock. «The Journal of General Psychology», Vol. IX (1933).
- Гоббс Г., Левиафан, или Материя, форма и власть государства церковного и гражданского, Соцэкгиз, М., 1936.
- Hobson E. W., The Theory of Functions of a Real Variable, New York: Dover Publications, 1957, Vol. I.
- Hölder O., Die Mathematische Methode, Berlin: J. Springer, 1924.
- Holtom G., On the Origins of the Special Theory of Relativity, «American Journal of Physics», Vol. XXVIII (1960).
- Hood P., How Time is Measured, London: Oxford University Press, 1955.
- Huntington E. V., The Continuum and Other Types of Serial Order. Second Edition, Cambridge: Harvard University Press, 1942.
- Huntington E. V., Inter-Relations Among the Four Principal Types of Order, «Transactions of the American Mathematical Society», Vol. XXXVIII (1935).
- Huntington E. V. and K. E. Rosinger, Postulates for Separation of Point-Pairs (Reversible Order on a Closed Line), «Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences», Boston, Vol. LXII (1932).
- Hutten E. H., The Language of Modern Physics, London: George Allen and Unwin, New York: The Macmillan Co., 1956.
- Jaffe B., Michelson and the Speed of Light, New York: Doubleday and Co., 1960.
- James W., The Principles of Psychology, New York: Dover Publications, 1950.
- Jammer M., Concepts of Space, Cambridge: Harvard University Press, 1954.
- Jeffreys H., The Earth, Cambridge: Cambridge University Press, 1952.
- John F., Numerical Solution of the Equation of Heat Conduction for Preceding Times, «Annali di Matematica Pura ed Applicata», Vol. XI (1955).
- Jordan P., Schwerkraft und Weltall, Braunschweig: F. Vieweg und Sohn, 1955.
- Кант И., О первом основании различения сторон в пространстве, «Сочинения в шести томах», «Мысль», М., 1964, т. 2.
- Кант И., Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей развиваться как наука, там же, т. 4 (1).
- Kaempffer F. A., On Possible Realizations of Mach's Program, «Canadian Journal of Physics», Vol. XXXVI (1958).
- Kepner R. J. and Thorndike, E. M. «Physical Review», Vol. XLII (1932).
- Клейн Ф., Элементарная математика с точки зрения высшей, ОНТИ, М.—Л., 1935.
- Клейн Ф., Невклидова геометрия, ОНТИ, М.—Л., 1936.
- Klein O., Mach's Principle and Cosmology in their Relation to General Relativity, «Recent Developments in General Relativity», Warsaw: Polish Scientific Publishers, 1962.

- Ландау Л. Д. и Лифшиц Е. М., Статистическая физика, «Наука», М., 1964.
- Landé A., Axiomatische Begründung der Thermodynamik durch Carathéodory, «Handbuch der Physik», Vol. IX (1926).
- Landé A., The Logic of Quanta, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VI (1956).
- Landé A., Optik und Thermodynamik, «Handbuch der Physik», Berlin: J. Springer, 1928, Vol. XX.
- Landé A., Wellenmechanik und Irreversibilität, «Physikalische Blätter», Vol. XIII (1957).
- Lechâtes C., Étude sur l'espace et le temps, Paris: Alcan Publishing Co., 1896.
- Lechâtes G., L'Axiome de libre Mobilité, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VI (1898).
- Leclercq R., Guide Théorique et Pratique de la Recherche Expérimentale, Paris: Gauthier-Villars; 1958.
- Lee H. D. P., Zeno of Elea, Cambridge: Luzac and Co., 1936.
- Lefschetz S., Introduction to Topology, Princeton: Princeton University Press, 1949.
- Leibniz G. W., Initia rerum mathematicorum metaphysica, «Mathematische Schriften», Edited by C. J. Gerhardt, Berlin: Schmidt's Verlag, 1863.
- Lewin K., Die zeitliche Geneseordnung, «Zeitschrift für Physik», Vol. XIII (1923).
- Lewis C. I., Analysis of Knowledge and Valuation, LaSalle: Open Court Publishing Co., 1946.
- Lewis C. I. and Langford C. H., Symbolic Logic, New York: The Century Co., 1932.
- Lorentz H., The Theory of Electrons, New York: Columbia University Press, 1909.
- Loschmidt J., Über das Wärmegleichgewicht eines Systems von Körpern mit Rücksicht auf die Schwere, «Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften», Wien, Vol. LXXIII (1876), Vol. LXXV (1877).
- Ludwig G., Der Messprozess, «Zeitschrift für Physik», Vol. CXXXV (1953).
- Ludwig G., Die Grundlagen der Quantenmechanik, Berlin: J. Springer, 1954.
- Ludwig G., Die Stellung des Subjekts in der Quantentheorie, «Veritas, Justitia, Libertas». Festschrift zu 200-Jahr Feier der Columbia University, Berlin: Colloquium Verlag, 1954.
- Ludwig G., Questions of Irreversibility and Ergodicity, «Ergodic Theories», Edited by P. Caldivola, New York: Academic Press, 1961.
- Ludwig G., Zum Ergodensatz und zum Begriff der makroskopischen Observablen, I, «Zeitschrift für Physik», Vol. CL (1958).
- Lüneburg R. K., Mathematical Analysis of Binocular Vision, Princeton: Princeton University Press, 1947.
- Lüneburg R. K., «Metric Methods in Binocular Visual Perception, «Studies and Essays», Courant Anniversary Volume, New York: Interscience Publishers, 1948.
- С. Я. Лурье, Теория бесконечно малых у древних атомистов, М.—Л., 1935.

- L y o n s H., Atomic Clocks, «Scientific American», Vol. CXCVI (1957).
- «Математика, ее содержание, методы и значение», под ред. А. Д. Александрова, А. Н. Колмогорова и М. А. Лаврентьева, АН СССР, М., 1956, т. III.
- М а х Э., Принцип сохранения работы и корень его, Спб., 1909.
- М а х Э., Механика. Историко-критический очерк ее развития, Спб., 1909.
- М а р г е н а u H., Can Time Flow Backwards? «Philosophy of Science» Vol. XXI (1954).
- М а р г е н а u H., Measurements and Quantum States, «Philosophy of Science», Vol. XXX (1963).
- М а р г е н а u H. and M u r p h y G. M., The Mathematics of Physics and Chemistry, New York: D. Van Nostrand Co., 1943.
- М а r i t a i n J., The Degrees of Knowledge, London: G. Bles Co., 1937.
- М а к с в е л л Д. К., Теория теплоты, Владимир, 1883.
- М а у r E., Cause and Effect in Biology, «Science», Vol. CXXXIV (1961).
- М е h l b e r g H., Essai sur le théorie causale du temps, «Studia Philosophica», Vol. I (1935), Vol. II (1937).
- М е h l b e r g H., Physical Laws and Time's Arrow, «Current Issues in the Philosophy of Science», Edited by H. Feigl and G. Maxwell, New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1961.
- М е n g e r K., Dimensionstheorie, Leipzig: B. G. Teubner, 1928.
- М i c h e l s o n A. A. and G a l e, H. G., The Effect of the Earth's Rotation on the Velocity of Light, «Astrophysical Journal», Vol. LXI (1925).
- М i l h a m W. I., Time and Timekeepers, New York: The Macmillan Co., 1929.
- М i l n e E. A., Kinematic Relativity, Oxford: Oxford University Press, 1948.
- М i l n e E. A., Modern Cosmology and the Christian Idea of God, Oxford: Clarendon Press, 1952.
- М i l n e E. A., Sir James Jeans, Cambridge: Cambridge University Press, 1952.
- М i s n e r C. W. and W h e e l e r J. A., Geometrodynamics, «Annals of Physics», Vol. II (1957).
- М ö b i u s, Der Barycentrische Calcul, Leipzig: Barth, 1827.
- М ø l l e r C., The Theory of Relativity, Oxford: Oxford University Press, 1952.
- Н a g e l E., Einstein's Philosophy of Science, «The Kenyon Review», Vol. XII (1950).
- Н a g e l E., The Formation of Modern Conceptions of Formal Logic in the Development of Geometry, «Osiris», Vol. VII (1939).
- Н a g e l E., The Structure of Science, New York: Harcourt, Brace and World, 1961.
- Н ъ ю т о н И., Математические начала натуральной философии, пер. А. Н. Крылова; в: «Собрание трудов академика А. Н. Крылова», т. 7, М.—Л., изд-во АН СССР, 1936.
- Н o r t h r o p F. S. C., The Logic of the Sciences and the Humanities, New York: The Macmillan Co., 1947.
- Н o r t h r o p F. S. C., The Meeting of East and West, New York: The Macmillan Co., 1946.

- Northrop F. S. C., *Whitehead's Philosophy of Science*, «The Philosophy of Alfred North Whitehead», Edited by P. A. Schilpp, New York: Tudor Publishing Co., 1941.
- Page L., *Introduction to Theoretical Physics*, New York: D. Van Nostrand Co., 1935.
- Page L. and Adams N. I., *Electrodynamics*, New York: D. Van Nostrand Co., 1940.
- Palter R. N., *Whitehead's Philosophy of Science*, Chicago: University of Chicago Press, 1960.
- Panofsky W. and Phillips M., *Classical Electricity and Magnetism*, Cambridge, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., 1955.
- Паули В. *Теория относительности*, М.—Л., 1947.
- Penrose O. and Percival, I. C., *The Direction of Time*, «Proceedings of the Physical Society», Vol. LXXIX (1962).
- Pérgard A., *Les Mesures Physiques*, Paris: Presses Universitaires de France, 1955.
- Pfeffer W., *Untersuchungen über die Entstehung der Schlafbewegungen der Blattorgane*, «Abhandlungen der sächsischen Akademie der Wissenschaften, Leipzig. Mathematisch-Physikalische Klasse», Vol. XXX (1907).
- Pittendrigh C. S., and Bruce V. G., *Daily Rhythms as Coupled Oscillator Systems and their Relation to Thermoperiodism and Photoperiodism*, «Photoperiodism and Related Phenomena in Plants and Animals», Washington, D.C.: The American Association for the Advancement of Science, 1959.
- Pittendrigh C. S. and Bruce, V. G., *An Oscillator Model for Biological Clocks*, «Rhythmic and Synthetic Processes in Growth», Edited by D. Rudnick, Princeton: Princeton University Press, 1957.
- Poincaré H., *Des Fondements de la Géométrie, à propos d'un Livre de M. Russell*, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VII (1899).
- Poincaré, H., *The Foundations of Science*, Lancaster: The Science Press, 1946.
- Poincaré H., *La Mécanique Nouvelle*, cited in R. Dugas: «Henri Poincaré devant les Principes de la Mécanique», «Revue scientifique», Vol. LXXXIX (1951).
- Poincaré H., *La Mesure du Temps*, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VI (1898).
- Poincaré H., *L'Espace et la Géométrie*, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. III (1895).
- Poincaré H., *The Principles of Mathematical Physics*, «The Monist», Vol. XV (1905), Reprinted in the «Scientific Monthly», Vol. LXXXII (1956).
- Poincaré H., *Sur les Principes de la Géométrie, Réponse a M. Russell*, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VIII (1900).
- Poincaré H., *Sur le problème des trois corps et les equations de la dynamique*, «Acta Mathematica», Vol. XIII (1890).
- Пуанкаре А., *Наука и гипотеза*, М., 1904.
- Пуанкаре А., *Ценность науки*, М., 1906.
- Пуанкаре А., *Последние мысли*, Пр., 1923.

- P o l a n y i M., Notes on Professor Grünbaum's Observations, «Current Issues in the Philosophy of Science», Edited by H. Feigl and G. Maxwell, New York: Holt, Rinehart and Winston, 1961.
- P o l a n y i M., Personal Knowledge, Chicago: Chicago University Press, 1958.
- P o p p e r K. R., The Logic of Scientific Discovery, London: Hutchinson and Co., 1959.
- P o p p e r K. R., «Nature», Vol. CLXXVII (1956), Vol. CLXXVIII (1956), Vol. CLXXIX (1957), Vol. CLXXXI (1958).
- P r i c e D. J., The Prehistory of the Clock, «Discovery», Vol. XVII (1956).
- P u t n a m H., The Analytic and the Synthetic, «Minnesota Studies in the Philosophy of Science», Edited by H. Feigl and G. Maxwell, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962, Vol. III.
- P u t n a m H., Three-Valued Logic, «Philosophical Studies», Vol. VIII (1957).
- Q u i n e W. V. O., From a Logical Point of View. Second edition, Cambridge: Harvard University Press, 1961.
- R e a d J., A Direct Entry to Organic Chemistry, London: Methuen & Co., 1948.
- R e i c h e n b a c h H., Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre, Braunschweig: F. Vieweg & Sons, 1924.
- R e i c h e n b a c h H., Das Kausalproblem in der Physik, «Naturwissenschaften», Vol. XIX (1931).
- R e i c h e n b a c h H., Die Bewegungslehre bei Newton, Leibniz und Huyghens «Kantstudien», Vol. XXIX (1924).
- R e i c h e n b a c h H., Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft, «Berichte der Bayerischen Akademie München, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Abteilung» (November 1925).
- Р е й х е н б а х Г., Направления времени, ИЛ, М., 1962.
- R e i c h e n b a c h H., Discussion of Dingler's paper, «Physikalische Zeitschrift», Vol. XXIII (1922).
- R e i c h e n b a c h H., Kant und die Naturwissenschaft, «Die Naturwissenschaften», 1933, Vol. XXI.
- R e i c h e n b a c h H., La signification philosophique du dualisme ondes-corpuscules, «Louis de Broglie, Physicien et Penseur», Edited by A. George, Paris: Editions Albin Michel, 1953.
- R e i c h e n b a c h H., Les fondements logiques de la mécanique des quanta, «Annales de l'Institut Henri Poincaré,» Vol. XIII (1953).
- R e i c h e n b a c h H., Modern Philosophy of Science, London: Routledge and Kegan Paul, 1959.
- R e i c h e n b a c h H., Philosophic Foundations of Quantum Mechanics, Berkeley: University of California Press, 1948.
- R e i c h e n b a c h H., The Philosophical Significance of the Theory of Relativity, «Albert Einstein: Philosopher-Scientist». Edited by P. A. Schilpp, Evanston: Library of Living Philosophers, 1949.
- R e i c h e n b a c h H., Philosophie der Raum-Zeit-Lehre, Berlin: Walter de Gruyter & Co., 1928.
- R e i c h e n b a c h H., The Philosophy of Space and Time, Dover Publications, 1958.

- Reichenbach H., Planetenuhr und Einsteinsche Gleichzeitigkeit, «Zeitschrift für Physik», Vol. XXXIII (1925).
- Reichenbach H., The Rise of Scientific Philosophy, Berkeley: University of California, 1951.
- Reichenbach H., Über die physikalischen Konsequenzen der relativistischen Axiomatik, «Zeitschrift für Physik», Vol. XXXIV (1925).
- Reichenbach H., Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis, «Handbuch der Physik», Vol. IV (1929).
- Rescher N., On Prediction and Explanation, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VIII (1958).
- Rescher N., The Stochastic Revolution and The Nature of Scientific Explanation, «Synthèse», Vol. XIV (1962).
- Richter C. P., Biological Clocks in Medicine and Psychiatry: Shock-Phase Hypothesis, «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. XLVI (1960).
- Риман Б., О гипотезах, лежащих в основаниях геометрии. Сб. «Об основаниях геометрии», Гос. техн.-теор. изд. М., 1956.
- Robertson H. P., The Geometries of the Thermal and Gravitational Fields, «American Mathematical Monthly», Vol. LVII (1950).
- Robertson H. P., Geometry as a Branch of Physics, «Albert Einstein: Philosopher-Scientist». Edited by P. A. Schilpp, Evanston: Library of Living Philosophers, 1949.
- Robertson H. P., «Mathematical Reviews», Vol. XVI (1955).
- Robertson H. P., Postulate versus Observation in the Special Theory of Relativity, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXI (1949).
- Rosenfeld L., On the Foundations of Statistical Thermodynamics, «Acta Physica Polonica», Vol. XIV (1955).
- Rossi B. and Hall D. B., «Physical Review», Vol. LIX (1941).
- Rothstein J., Information, Measurement and Quantum Mechanics, «Science», Vol. CXIV (1951).
- Rougier L., La Philosophie Géométrique de Henri Poincaré, Paris: F. Alcan, 1920.
- Rush J. H., The Speed of Light, «Scientific American», Vol. CXCIII (1955).
- Russell B., The Foundations of Geometry, New York: Dover Publications, 1956.
- Russell B., Our Knowledge of the External World, London: George Allen and Unwin, 1926.
- Russell B., The Philosophy of Leibniz, London: George Allen and Unwin, 1937.
- Russell B., The Principles of Mathematics, Cambridge: Cambridge University Press, 1903.
- Russell B., Sur les Axiomes de la Géométrie, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. VII (1899).
- Saccheri G., Euclides ab omni naevo vindicatus, Milan: P. A. Montani, 1733.
- Sachs R. G., Can the Direction of Flow of Time Be Determined?, «Science», Vol. CXL (1963).
- Salecker H. and Wigner E. P., Quantum Limitations of the Measurement of Space-Time Distances, «The Physical Review», Vol. CIX (1958).

- S a n d a g e A., Travel Time for Light from Distant Galaxies Related to the Riemannian Curvature of the Universe, «Science», Vol. CXXXIV (1961).
- S c h e f f l e r I., Explanation, Prediction and Abstraction, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VII (1957).
- S c h l i c k M., Are Natural Laws Conventions? «Readings in the Philosophy of Science», New York: Appleton-Century-Crofts, 1953.
- S c h l i c k M., Grundzüge der Naturphilosophie, Vien: Gerold & Co., 1948.
- S c h o l z H., Eine Topologie der Zeit im Kantischen Sinne, «Dialectica», Vol. IX (1955).
- S c h r ö d i n g e r E., Irreversibility, «Proceedings of the Royal Irish Academy», Vol. LIII (1950).
- S c h r ö d i n g e r E., The Spirit of Science, «Spirit and Nature». Edited by J. Campbell, New York: Pantheon Books, 1954.
- Ш р е д и н г е р Э., Что такое жизнь с точки зрения физики? ИЛ, М., 1947.
- S c i a m a D. W., Inertia, «Scientific American», Vol. CXCVI (February 1957).
- S c i a m a D. W., On the Origin of Inertia, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», Vol. CXIII (1953).
- S c r i b n e r C., Mistranslation of a Passage in Einstein's Original Paper on Relativity, «American Journal of Physics», Vol. XXXI (1963).
- S c r i v e n M., Comments on Professor Grünbaum's Remarks at the Wesleyan Meeting, «Philosophy of Science», Vol. XXIX (1962).
- S c r i v e n M., Explanation and Prediction in Evolutionary Theory, «Science», Vol. CXXX (1959).
- S c r i v e n M., The Temporal Asymmetry of Explanations and Predictions, «Philosophy of Science», Edited by Bernard Baumrin, New York: John Wiley and Sons, 1963. Vol. I.
- S e l l a r s W., Time and the World Order, «Minnesota Studies in the Philosophy of Science», Vol. III. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1962.
- S h a n k l a n d R. S., M c C u s k e y S. W., L e o n e S. C. and K u e r t j G., New Analysis of the Interferometer Observations of Dayton C. Miller, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXVII (1955).
- S h e p p e r d J. A. H., Transitivity of Betweenness and Separation and the Definitions of Betweenness and Separation Groups, «Journal of the London Mathematical Society», Vol. XXXI (1956).
- S i l b e r s t e i n L., The Theory of Relativity, New York: The Macmillan Co., 1914.
- S m a r t J. J. C., Mr. Mayo on Temporal Asymmetry, «Australasian Journal of Philosophy», Vol. XXXIII (1955).
- S m a r t J. J. C., Critical Study of H. Reichenbach's «The Direction of Time», «Philosophical Quarterly», Vol. VIII (1958).
- S m a r t J. J. C., Spatializing Time, «Mind», Vol. CXIV (1955).
- S m a r t J. J. C., The Temporal Asymmetry of the World, «Analysis», Vol. XIV (1954).
- S o k o l n i k o f f I. S., Mathematical Theory of Elasticity, New York: McGraw-Hill Book Co., 1946.
- S o m m e r f e l d A., Notes in: «The Principle of Relativity», A Collection of Original Memoirs, New York: Dover Publications, 1952. A reprint.

- Зоммерфельд А., Дифференциальные уравнения в частных производных физики, ИЛ, М., 1950.
- Sommerville D. M. Y., The Elements of Non-Euclidean Geometry, New York: Dover Publications, 1958.
- Станюкович К. П., О возрастании энтропии в бесконечной вселенной, «ДАН СССР», 1949, т. LXIX, № 6.
- Stebbing L. Susan, Philosophy and the Physicists, London: Methuen & Co., 1937.
- Stille U., Messen und Rechnen in der Physik, Braunschweig: Vieweg, 1955.
- Struik D. J., Classical Differential Geometry, Cambridge: Addison-Wesley Publishing Co., 1950.
- Тамм И. Е., Общие свойства излучения, испускаемого системами, движущимися со сверхсветовыми скоростями, и некоторые приложения к физике плазмы, «УФН», т. 68, вып. 3, 1959.
- Tarski A., What is Elementary Geometry? «The Axiomatic Method». Edited by L. Henkin, P. Suppes and A. Tarski, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1959.
- Taub A. H., Empty Space-Times Admitting a Three Parameter Group of Motions, «Annals of Mathematics», Vol. LIII (1951).
- Taylor G. J., Tidal Friction in the Irish Sea, «Philosophical Transactions of the Royal Society Academy», Vol. CCXX (1920).
- Taylor W. B., The Meaning of Time in Science and Daily Life (Doctoral Dissertation) Los Angeles: University of California at Los Angeles, 1953.
- Тер Haar D., Foundations of Statistical Mechanics, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXVII (1955).
- Thomas T. Y., The Differential Invariants of Generalized Spaces, Cambridge: Cambridge University Press, 1934.
- Timoshenko S. and Goodier J. N., Theory of Elasticity, New York: McGraw-Hill Book Co., 1951.
- Tolman R. C., Relativity, Thermodynamics and Cosmology, Oxford: Oxford University Press, 1934.
- Tolman R. C., The Principles of Statistical Mechanics, Oxford: Oxford University Press, 1938.
- Trocheris M. G., Electrodynamics in a Rotating Frame of Reference, «Philosophical Magazine», Vol. XL (1949).
- Truesdell C., Ergodic Theory in Classical Statistical Mechanics. Edited by P. Caldivole, «Ergodic Theories», New York: Academic Press, 1961.
- Tаннеру Р., Le Concept Scientifique du Continu: Zenon d'Elée et Georg Cantor, «Revue Philosophique», Vol. XX, № 2 (1885).
- Веблен О. и Уайтхед Дж., Основания дифференциальной геометрии, М.—Л., 1949.
- von Fritz K., The Discovery of Incommensurability by Hippasus of Metapontum, «Annals of Mathematics», Vol. XLVI (1945).
- von Helmholtz H., Schriften zur Erkenntnistheorie, Edited by P. Hertz and M. Schlick, Berlin: J. Springer, 1921.
- von Laue Max, Die Relativitätstheorie, Braunschweig: F. Vieweg, 1952, Vol. I.
- von Laue Max, A. Einstein und die Relativitätstheorie, «Naturwissenschaften», Vol. XLIII (1956).
- фон Нейман Д., Математические основы квантовой механики, «Наука», М., 1964.

- von Weizsäcker C. F., Der zweite Hauptsatz und der Unterschied von Vergangenheit und Zukunft, «Annalen der Physik», Vol. XXXVI (1939).
- Waismann F., Introduction to Mathematical Thinking, New York: F. Ungar Publishing Co., 1951.
- Walker A. G., Axioms for Cosmology, «The Axiomatic Method», Edited by L. Henkin, P. Suppes and A. Tarski, Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1959.
- Ward F. A. B., Time Measurement. Fourth edition, London: Royal Stationery Office, 1958, Part I.
- Watanabe M. S., Le Concept de Temps en Physique Moderne et la Durée Pure de Bergson, «Revue de Métaphysique et de Morale», Vol. LVI (1951).
- Watanabe M. S., Le Deuxième Théorème de la Thermodynamique et la Mécanique Ondulatoire, Paris: Hermann & Cie., 1935.
- Watanabe M. S., Réversibilité contre Irréversibilité en Physique Quantique, «Louis de Broglie, Physicien et Penseur», Paris: Albin Michel, 1953.
- Watanabe M. S., Symmetry of Physical Laws. Part III, Prediction and Retrodiction, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXVII (1955).
- Watanabe M. S., Über die Anwendung Thermodynamischer Begriffe auf den Normalzustand des Atomkerns, «Zeitschrift für Physik», Vol. CXIII (1939).
- Weber J., Phase, Group, and Signal Velocity, «American Journal of Physics», Vol. XXII (1954).
- Weinstein B., Handbuch der Physikalischen Massbestimmungen, Berlin: J. Springer, 1886, Vol. I, and 1888, Vol. II.
- Weiss P., Reality, New York: Peter Smith, 1949.
- Weyl H., 50 Jahre Relativitätstheorie, «Naturwissenschaften», Vol. XXXVIII (1951).
- Weyl H., Philosophy of Mathematics and Natural Science, Princeton: Princeton University Press, 1949.
- Weyl H., Space-Time-Matter, New York: Dover Publications, 1950.
- Вейль Г., О философии математики, Гостехиздат, М.—Л., 1934.
- Wheeler J. A., Curved Empty Space-Time as the Building Material of the Physical World: An Assessment. Edited by E. Nagel, P. Suppes and A. Tarski, «Logic Methodology and Philosophy of Science»: Proceedings of the 1960 International Congress, Stanford: Stanford University Press, 1962.
- Wheeler J. A., Mach's Principle as a Boundary Condition for Einstein's Field Equations and as a Central Part of the 'Plan' of General Relativity, Warsaw, July 1962.
- Wheeler J. A., The Universe in the Light of General Relativity, «The Monist», Vol. XLVII, № 1 (1962).
- Whitehead A. N., The Concept of Nature, Cambridge: Cambridge University Press, 1926.
- Whitehead A. N., Essays in Science and Philosophy, New York: The Philosophical Library, 1947.
- Whitehead A. N., The Principles of Natural Knowledge, Cambridge: Cambridge University Press, 1955.
- Whitehead A. N., The Principle of Relativity, Cambridge: Cambridge University Press, 1922.

- Whitehead A. N., *Process and Reality*, New York: The Macmillan Co., 1929.
- Уитроу Дж., *Естественная философия времени*, «Прогресс», М., 1964.
- Whittaker E. T., *From Euclid to Eddington*, London: Cambridge University Press, 1949.
- Whittaker E. T., G. F. Fitzgerald, «Scientific American», Vol. CLXXXIX (November 1953).
- Whittaker E. T., *A History of the Theories of Aether and Electricity*, London: Thomas Nelson & Sons, 1953.
- Whyte L. L., *Light Signal Kinematics*, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. IV (1953).
- Whyte L. L., *One-Way Processes in Physics and Biophysics*, «British Journal for the Philosophy of Science», Vol. VI (1955).
- Винер Н., *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*, «Сов. радио», М., 1958.
- Wigner E. P., *Relativistic Invariance and Quantum Phenomena*, «Reviews of Modern Physics», Vol. XXIX (1957).
- Yanase M. M., *Reversibilität und Irreversibilität in der Physik*, «Annals of the Japan Association for Philosophy of Science», Vol. I (1957).
- Zawirski Z., *L'Évolution de la Notion du Temps*, Cracow: Librairie Gebethner & Wolff, 1936.
- Zermelo E., *Über einen Satz der Dynamik und der mechanischen Wärmetheorie*, «Wiedemannsche Annalen (Annalen der Physik und Chemie)», Vol. LVII (1896).
- Ziisel E., *Über die Asymmetrie der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit*, «Naturwissenschaften», Vol. XV (1927).

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсолютное пространство и время, см. метрика, внутренне присущая
- Ad hoc, обвинение ad hoc против нестандартных определений конгруэнтности 103, 109, 112; обвинение ad hoc против гипотезы сокращения Лоренца — Фицджеральда 476—487
- Аксиомы пространственной конгруэнтности 25, 43, 46, 52, 70
- Временное отношение «между» 245 и далее.
- Временная симметрия 269
- Гауссова кривизна 28, 50, 110, 115, 116, 118, 121, 124, 125, 186—188, 192, 199, 200, 525
- Геодезические линии 27, 28, 34, 35, 123, 125, 144—146, 151
- Геохронометрический конвенционализм (ГК) 44, 47, 50—52, 55, 57, 58
- Гиперболическая геометрия 35, 36, 171, 197—200.
- Деформирующие (возмущающие) воздействия 13, 27, 61, 109, 132, 150, 159—188, 501.
- Детерминизм и индетерминизм 411—422.
- Жесткость (измерительных стержней) 13, 26, 41, 58—61, 63, 79, 80, 108, 110, 126, 162, 199, 510—513.
- Звездный параллакс 133, 140, 141, 144, 145, 150, 151
- Зенона апории движения, 228, 263
- Изохронность (часов) 13, 41, 58, 86, 513.
- Квазиэргодичности гипотеза 296, 325, 330.
- Конвенция (конвенциональность) 26, 33, 39—58, 62, 101—104, 107, 147, 184, 426—431, 445—447, 509, 512.
- Конгруэнтность (аксиомы конгруэнтности, см. аксиомы, конвенциональный характер конгруэнтности, см. конвенциональность): класс конгруэнтности для линейных отрезков 26, 29, 33, 34, 56, 102, 119, 120, 161, 184; для углов 34, 124, 125; для временных интервалов 37, 39, 42—44; конгруэнтности «дефиниция» 29, 30, 62, 63, 109, 110, 112—116, 148, 149, 160, 161, 185; конгруэнтности стандарт 13, 26—29, 60, 61, 62—63, 66, 67, 78—80; конгруэнтности отношение 26, 37, 38, 40, 41, 42—43, 48, 49.
- Конгруэнтности: несовместные конгруэнтности, которые дают геометрию с одинаковой метрикой 28, 56, 71, 72, 107 сноска, 119—128

Континуум 18—25, 26, 427—431
Конформное преобразование 34, 125
Маха принцип 24, 515—321
Метрика, возможность введения иной метрики 26, 28, 29, 33—39, 48, 49, 52, 58, 59, 64—67, 140—143, 147, 185
Метрика, внутренне присущая 14, 16, 18—26, 30, 31, 37, 38—39, 49, 55, 56, 59, 60, 62—66, 79, 81, 104; внешняя 23—25, 38—40, 63
Метрическая аморфность 20, 30, 39, 144, 195
Метрическая геометрия 26, 28, 38
Метрические коэффициенты (см. метрический тензор) 34—35, 106, 108 сноска, 517
Метрическое поле 516
Метрический тензор 26, 27, 49, 102, 108 сноска, 172, 193
Многообразие см. пространство
Необратимость: слабая, номологически случайная 267, 266, 275; сильная, номологическая 265—266
Обычный язык 51, 446
Одновременность (топологическая и метрическая) 44—48, 52, 257, глава 12
O-отношение «между» 228, 229, 244, 246, 270, 272
Параллакс см. звездный параллакс
Понятие множества критериев 29, 30, 160—162
Пространство: дискретное 24; непрерывное 24—26, 30; переменной гауссовой кривизны 104, 115, 116
Прямые линии (см. также геодезические) 27, 34, 38, 49, 124, 140—145
Равенство 13, 14, 17, 25, 26, 38, 42, 43, 55, 63, 79, 82, 104
Расстояния (функция) 25—28, 49, 108, 118
Расширение: универсальное расширение, 59, 60; расширение вселенной 339—341
Самоконгруэнтность 25, 113, 114.
Тривиальный семантический конвенционализм (ТСК) 42—44, 47, 50, 52, 55
Хронометрия 26, 37, 38, 68—79, главы 2, 12, раздел В.
Чудеса 501—503

СОДЕРЖАНИЕ

От Издательства	5
Предисловие к русскому изданию	7
Предисловие к американскому изданию	8

Часть I. Философские проблемы метрики пространства и времени

Глава 1. Пространственная и временная конгруэнтность в физике. Критический анализ взглядов Ньютона, Римана, Пуанкаре, Эддингтона, Бриджмена, Рассела и Уайтхеда	13
А. Ньютон	14
Б. Риман	18
В. Пуанкаре	33
Г. Эддингтон	39
Д. Бриджмен	58
Е. Рассел	62
Ж. Уайтхед	65
Глава 2. Значение альтернативной метризации времени в ньютоновой механике и общей теории относительности	85
А. Ньютонова механика	—
Б. Общая теория относительности	97
Глава 3. Критика философии геометрии Рейхенбаха и Карнапа	
А. Статус «универсальных сил»	101
Б. «Относительность геометрии»	119
Глава 4. Критика эйнштейновой философии геометрии	129
А. Рассмотрение Дюгемом фальсифицируемости изолированной эмпирической гипотезы и ее отношение к эйнштейновой концепции взаимозависимости геометрии и физики	129
I. Тривиальная справедливость <i>D</i> -тезиса	135
II. Несостоятельность <i>D</i> -тезиса в его нетривиальной форме	138

Б. Взаимозависимость геометрии и физики в конвенционализме Пуанкаре	140
В. Критическая оценка концепции Эйнштейна относительно взаимозависимости геометрии и физики: физическая геометрия как контрпример <i>D</i> -тезиса в его нетривиальной форме	159
Глава 5. Эмпиризм и геометрия визуального пространства	194
Глава 6. Решение апории Зенона о протяженности для случая математического континуума пространства и времени	201

Часть II. Философские проблемы топологии времени и пространства

Глава 7. Причинная теория времени	227
А. Замкнутое время	249
Б. Открытое время	257
Глава 8. Анизотропия времени	264
А. Существуют ли термодинамические основания анизотропии времени?	264
I. Закон энтропии в классической термодинамике	275
II. Статистическая аналогия закона энтропии	296
Б. Существуют ли нетермодинамические основания анизотропии времени?	327
Глава 9. Асимметрия возможности ретроспективных и перспективных высказываний. Объяснение прошлого и предсказание будущего. Механицизм <i>versus</i> телеологии	345
А. Условия, при которых возможно ретроспективное и невозможно перспективное высказывание	345
Б. Физическая основа анизотропии психологического времени	355
В. Отношение возможности ретросказания и невозможности предсказания к возможности объяснения и предсказания	356
I. Эволюционная теория	367
II. Парез	371
III. Барометр	377
Г. Дискуссия между механицизмом и телеологией	380
Глава 10. Существует ли «течение» времени или «становление» во времени?	382
А. Проблема зависимости становления от сознания	383
Б. Различие между становлением во времени и независимой от сознания анизотропией времени	385
В. Зависимость становления от сознания	395
Г. В защиту тезиса о зависимости становления от сознания	404
Д. «Становление» и конфликт между детерминизмом и индетерминизмом	411
Глава 11. Эмпиризм и трехмерность пространства	423

Часть III. Философские проблемы теории относительности

Глава 12. Философские основания специальной теории относительности	435
А. Введение	435
Б. Эйнштейновская концепция одновременности, ее история и наиболее распространенные ошибочные интерпретации	436
В. История введения Эйнштейном принципа предельности скорости света в вакууме	465
Г. Принцип постоянства скорости света и ошибочность гипотезы сокращения, выдвинутой сторонниками теории эфира Лоренцом и Фицджеральдом	475
Д. Экспериментальное подтверждение кинематики специальной теории относительности	492
Е. Разногласия между Эйнштейном и его предшественниками — сторонниками теории эфира и их значение для истории специальной теории относительности в трактовке Уайттекера	495
Глава 13. Философская оценка альтернативы специальной теории относительности Эйнштейна, предложенной Милном	506
Глава 14. Отвергает ли общая теория относительности абсолютное пространство?	515
Глава 15. Критика теории относительности Уайтхеда	522
<i>Приложение. Установление одновременности в специальной теории относительности с помощью медленно перемещаемых часов</i>	<i>527</i>
<i>Послесловие</i>	<i>553</i>
<i>Указатель литературы</i>	<i>569</i>
<i>Предметный указатель</i>	<i>586</i>

А. Грюнбаум

**ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ**

Редактор издательства В. БАРСУКОВ

Художник *В. Колганов*

Художественный редактор *Л. Шканов*

Технический редактор *Г. Живрина*

Корректор *Р. Прицкер*

Сдано в производство 16/IV 1969 г.

Подписано к печати 27/X 1969 г.

Бумага 84×108¹/₃₂, бум. л. 9¹/₄

31,08 печ. л.,

Уч.-изд. л. 31,97 Изд. № 9/9761

Цена 2 р. 52 к. Зак. 932

Издательство «Прогресс»

Комитета по печати при Совете Министров СССР

Москва, Г-21, Зубовский бульвар, 21

Московская типография № 16

Главполиграфпрома

Комитета по печати при Совете Министров СССР

Москва, Трехпрудный пер., 9