

G.J. Whitrow

**The Natural Philosophy
of Time**

Thomas Nelson and Sons Ltd
London and Edinburgh, 1961

Дж. Уитроу

**Естественная
философия
времени**

Перевод с английского
Ю. Молчанова, В. Скурлатова, С. Шушурина

Общая редакция
проф. *М. Э. Омеляновского*

Издание второе, стереотипное

Г Москва • 2003



УРСС

Уитроу Дж.

Естественная философия времени: Пер. с англ. / Общ. ред. М. Э. Омельяновского. Изд. 2-е, стереотипное. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 400с.

ISBN 5-354-00247-8

Настоящая книга представляет собой обобщающий труд, охватывающий проблему времени с разных сторон. Рассматривая проблему времени со стихийно-материалистических позиций, отвергая идеалистические попытки оторвать время от временных вещей, автор пытается дать анализ времени в его объективном отношении ко Вселенной, к пространству и человеку.

Издательство «Едиториал УРСС». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.
Лицензия ИД №05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 06.11.2002 г.
Формат 60x84/16. Тираж 960 экз. Печ. л. 25. Зак. № 63.

Отпечатано в типографии ООО «Рохос». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

ИЗДАТЕЛЬСТВО **УРСС**
НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

E-mail: urss@urss.ru

Каталог изданий

в Internet: <http://urss.ru>

Тел./факс: 7 (095) 135-44-23

Тел./факс: 7 (095) 135-42-46

ISBN 5-354-00247-8

- © Перевод с английского:
Ю. Молчанов, В. Скурлатов,
С. Шушурин, 1964, 2002
- © Едиториал УРСС, 2002

ПРЕДИСЛОВИЕ

Недавно проф. Синг заявил, что, с его точки зрения, из всех физических измерений наиболее фундаментальным является измерение времени и что «теория, на которой основаны эти измерения, является самой важной» (J. L. Synge, «The New Scientist», 19th February 1959, p. 410). Он утверждал, что Евклид направил нас по ложному пути, взяв в качестве первичного понятия науки пространство, а не время. Отсутствие до сих пор какого-либо общепринятого термина для наименования исследований времени служит очевидным доказательством этого любопытного пренебрежения. Синг предложил использовать слово «хронометрия» для обозначения той части науки, которая имеет дело с понятием времени в столь же широком смысле, как «геометрия» имеет дело с понятием пространства. Делая это предложение, он указал на то, что чистая, или теоретическая, хронометрия должна отличаться от прикладной, или практической, хронометрии (то есть техники изготовления часов, астрономического определения времени, дендрохронологии, определения возраста минералов по содержанию радиоактивного изотопа углерода и т. д.).

Первый набросок данной книги уже был закончен, когда появилась статья Синга о времени. Мне было приятно узнать, что труд, которым я занимался на про-

І. Универсальное время

тяжении предыдущих пяти лет, может помочь заполнить, пусть недостаточно, общепризнанную брешь в литературе по естественной философии.

Я хотел бы поблагодарить д-ра Г. П. Моррисона за то, что он побудил меня написать эту книгу и за его постоянную поддержку; проф. М. С. Бартлетта из Университетского колледжа, Лондон, — за разрешение иметь доступ к машинописному экземпляру лекции, которую он прочел на встрече Группы философии науки в сентябре 1956 года; проф. Адольфа Грюнбаума из Питсбургского университета — за присылку мне отписок статей, а также препринта его интересной статьи из выходящего сборника «Философия Рудольфа Карнапа» в серии «Библиотека живущих философов», издаваемой П. А. Шилпом. По приглашению Гамбургского университета в мае 1960 года я прочел в Гамбурге три публичные лекции на материале этой книги, и я хотел бы поблагодарить проф. О. Хекмана, директора Гамбургской обсерватории, который любезно предоставил мне возможность прочесть эти лекции. Больше всего я благодарен моему старому другу Питеру Берджессу за чтение корректур. Я хотел бы также выразить мое непреходящее чувство признательности покойному проф. Э. А. Милну, который еще четверть века назад предвосхитил мысли Синга. И, наконец, я выражаю благодарность своей жене за ее постоянную помощь.

Уместно добавить, что читатели, которые знают математику в ограниченном объеме, не много потеряют в уяснении основных аргументов, если они лишь бегло прочтут следующие параграфы: 7, 8, глава III; 2, 3, глава IV; 4, 5, 6, глава V.

Дж. Дж. У.

17 сентября 1960 года

1. «УСТРАНЕНИЕ» ВРЕМЕНИ

История натурфилософии характеризуется взаимно* действием двух противоположных точек зрения, которые можно связать с именами Архимеда и Аристотеля, этих интеллектуальных гигантов античности, труды которых имели решающее значение для основателей современной науки, живших в эпоху позднего средневековья и Возрождения. Архимед служит прототипом тех, чья философия физики предполагает «элиминацию» («устранение») времени¹, то есть тех, кто полагает, что временной поток не является существенной особенностью первоосновы вещей. С другой стороны, Аристотель служит предшественником тех, кто рассматривает время как фундаментальное понятие, поскольку он утверждал, что имеется реальное «становление» («comings-into-being») и что мир имеет в своей основе временную структуру².

Архимед был основателем гидростатики как науки и автором первого важного трактата по статике. Что Евклид сделал для ремесла каменщика, то Архимед сделал для практического и интуитивного знания целых поколе-

¹ Этот термин был предложен Эмилем Мейерсоном («Тождественность и действительность», М., 1912, стр. 225).

² Более ранними и более расплывчатыми концепциями, которые могут считаться предшествующими этим двум точкам зрения, являются концепции Парменида и Гераклита. Парменид утверждал, что последняя физическая реальность вневременна, тогда как центральная доктрина Гераклита заключалась в том, что мир является совокупностью *событий*, а не *вещей*. (Современный анализ аристотелевской философии природы см. в: J. H. Randall I, jun., Aristotle, New York, 1960.)

аий инженеров, которые пользовались простейшими машинами, например весами и рычагом. Он заложил теоретическую основу этого знания и, следуя примеру Евклида, изложил его в виде логически стройной системы. Его трактат «О равновесии плоскостей» представляет собой выдающийся пример научного изложения, основанного на строгих выводах из вполне очевидных предпосылок. Он представляет собой тот идеал, который столь настойчиво в наши дни искали Эйнштейн и другие ученые, — состоящий в сведении физики к геометрии, но понятие времени в нем не встречается.

Аристотелевская трактовка физических проблем была совершенно иной. Метафизический принцип, согласно которому каждое изменение требует причины, был фундаментальным для образа мысли Аристотеля. Например, книга VII «Физики» начинается с утверждения: «Все, что движется, движимо чем-то еще». Этот постулат физики вынуждены были отвергнуть еще до того, как была сформулирована современная динамика. Тем не менее, какими бы ошибочными ни казались теперь принципы Аристотеля, то, что они столь долго были общеприняты, показывает, что они являлись столь же «самоочевидными», как аксиомы и постулаты Евклида и Архимеда. Существенное различие между ними заключалось в следующем: что бы ни думали сами математики, они фактически имели дело с абстрактными предельными случаями, тогда как Аристотель был эмпириком, которого интересовала исключительно действительная физическая вселенная, в том виде, как он ее себе представлял, и поэтому он разделял все ошибки этой ограниченной концепции. Действительно, аристотелевскую физику надо было свергнуть, прежде чем возникла современная физика, и следовало применить метод Архимеда.

Тем не менее физика Аристотеля со всеми своими недостатками в одном жизненно важном отношении превосходила физику Архимеда. Определенность и ясность принципов Архимеда в большой степени явились результатом того, что эти принципы затрагивали, так сказать, поверхность явлений и не добивались до глубин. Логически идеальный трактат Архимеда о статике был на деле менее глубоким и менее богатым в смысле перспектив его дальнейшего развития, чем не лишенная не-

достатков работа Аристотеля. Причина этого ясна: Архимед обходил проблему движения; Аристотель же ею непосредственно занимался. В натурфилософии Архимеда законы природы представляют собой законы равновесия, и связанные с временем понятия не играют в ней никакой роли, тогда как для Аристотеля*природа была «началом движения и изменения»¹ и не могла быть понята без анализа времени.

Хотя сугубо фундаментальная по отношению к нам природа времени очевидна, как только мы осознаем, что наши суждения о времени и событиях во времени сами существуют «во» времени, тогда как наши суждения о пространстве, по-видимому, не относятся в каком-либо ясном смысле к месту в пространстве, на физиков значительно более глубоко влияет тот факт, что пространство кажется нам данным все сразу, тогда как время предстает перед нами только кусочками. Прошлое надо восстанавливать с помощью ненадежной памяти, будущее скрыто от нас, и только настоящее непосредственно переживается нами. Это удивительное различие пространства и времени нигде не имело большего влияния, чем в физической науке, основанной на понятии измерения. Свободная подвижность в пространстве ведет к представлению о перемещаемой единице длины и неизменной измерительной линейке. Отсутствие свободной подвижности во времени лишает нас уверенности в том, что процесс длится то же самое время всякий раз, когда он повторяется. Следовательно, как заметил Эйнштейн, «для физического мышления характерно... что оно старается-в принципе иметь дело с *одними* лишь «пространственно-подобными» понятиями и стремится выразить с их помощью все отношения, имеющие форму законов»². Правда, Эйнштейн в термин «пространственно-подобный» включил понятия *времени* и *события*, в том виде, в каком они использовались в его теории, но он полагал, что более естественно «мыслить физическую реальность четырехмерным континуумом вместо того, чтобы, как прежде, считать ее *эволюцией* трехмерного континуума»³. Таким образом, для эффективного изучения

¹ Аристотель, Физика, кн. IIG, Соцэкгиз, 1937, стр. 49.

² A. Einstein, Relativity: The Special and the General Theory (trans. R. W. Lawson), London, 1954, p. 141.

³ A. Einstein, op. cit., p. 150.

временного аспекта природы люди используют свою изобретательность, чтобы придумать средство, при помощи которого специфические характеристики времени либо игнорировались бы, либо искажались. (Действительно, это очевидно даже на уровне обычного разговора, когда мы говорим о «коротком промежутке времени», словно интервал времени можно рассматривать как интервал пространства.) Великие достижения в физической науке были совершены при строгом проведении этой парадоксальной политики.

Нет ничего специфически современного или революционного в тенденции подчинить время пространству. Еще в 1872 году в своей знаменитой речи «О границах естественных наук» Эмиль Дюбуа-Реймон категорически заявил, что познание природы заключается в сведении всех изменений в физическом мире к движениям атомов, управляемых независимыми от времени силами. Четверть века ранее Рельмгольц в своей лекции «О сохранении силы» утверждал, что задача физики в конце концов заключается в сведении всех явлений природы к силам притяжения и отталкивания, интенсивность которых зависит только от расстояния между телами. Только в том случае, если эта проблема разрешима, можно-де быть уверенными, что природа познаваема. Подобный же взгляд высказал Пуансо в «Элементах статики»: «В идеальном знании мы знаем только один закон — закон постоянства и однородности. К этой простой идее мы пытаемся свести все другие, и, как мы думаем, только в этом сведении заключается наука».

Возвращаясь к XVIII столетию, мы находим, что взгляды Лавуазье основывались на постулате, что в каждом химическом преобразовании имеет место сохранение «материи»: «На этом принципе основано все искусство химического эксперимента»¹, Химическое уравнение является выражением принципа тождества, сохранения устранения времени (time-elimination) — короче говоря, выражением того, что, вопреки видимым внешним изменениям, в основном *ничто не происходит*. Поэтому специалист по философии науки Эмиль Мейерсон заключил, что «наука, стараясь стать «рациональной»,

стремится все более и более уничтожить изменение во времени»¹.

В математической физике современник Лавуазье Лагранж был предшественником Мииковского и Эйнштейна, когда утверждал, что время можно рассматривать как четвертое измерение пространства*. Он понимал, что наподобие осей геометрической системы координат временная переменная аналитической механики, основанной на ньютоновских законах движения, не является однонаправленной и что в принципе все движение и динамические процессы, подчиняющиеся этим законам, образуют «тимы». Более того, начало отсчета ньютоновского времени можно выбрать так же произвольно, как и начало декартовой системы координат. Рассматривая физическое время как четвертое измерение пространства, Лагранж вообще исключил время из динамики.

«Устранение» времени из естественной философии тесно связано с влиянием геометрии. Архимедовская теория статических явлений почти полностью была геометрической (негеометрические элементы в ней не являлись непосредственно очевидными, например, неявное предположение, что момент вращения вокруг точки опоры нескольких грузов, размещенных вдоль одного плеча рычага, будет таким же, как если бы все грузы были сосредоточены в их центре тяжести). Великие достижения Галилея в динамике в большой степени были обусловлены удачным использованием им изображения времени геометрически в виде прямой линии. Главная цель глубоких исследований Эйнштейна о силах природы хорошо выражена термином «геометризация физики»; время полностью растворяется в геометрии многомерного пространства. Таким образом, вместо игнорирования временного аспекта природы, как это делал Архимед, математики и физики нового времени пытались объяснить время через пространство, и в этом им помогали философы, особенно идеалисты².

¹Э Мейерсон, Тожественность и действительность, М., 1912, стр. 244.

²Подобное положение наблюдается также среди биологов. Несколько лет назад Дж. З. Янг был вынужден обратить внимание на тот факт что «подчеркивание направленности биологической активности удивительно непопулярно среди некоторых биологов; такое подчеркивание сопровождается (несправедливо) наклеиванием ярлы-

¹ A. Lavoisier, Oeuvres, v, I, Paris, 1864, p. 101,

2. НАПРАВЛЕННОСТЬ И СИММЕТРИЧНОЕ ВРЕМЯ

Если понятие времени в физике подчинено Понятию пространства, то мы должны как-то объяснить асимметрию прошлого и будущего, которой характеризуется наш временной опыт. Несмотря на возрастающие трудности, предпринимались все более и более энергичные попытки решения этой проблемы.

Несмотря на достижения Лавуазье и Лагранжа, очевидность направленности в природе не могла игнорироваться основателями термодинамики в начале XIX столетия. В своем классическом «Размышлении о движущей силе огня», опубликованном в 1824 году, Сади Карно установил, что, хотя энергия может сохраняться, она тем не менее может быть бесполезной для совершения механической работы. Связанный с этим принцип был сформулирован Клаузиусом в виде следующей аксиомы: теплота переходит от горячего тела к холодному, но не наоборот. Клаузиус отметил, что этот закон, сформулированный им с помощью абстрактного понятия энтропии, противоречит обычной точке зрения о неизменности общего состояния мира, в котором изменения в одном направлении в данном месте и в данное время уравнивались изменениями в обратном направлении в другом месте и в другое время. Хотя первый закон термодинамики (сохранение энергии:) как будто бы подтверждает этот взгляд, второй закон (увеличение энтропии) полностью противоречит ему. «Отсюда следует, что состояние вселенной должно все более и более изменяться в определенном направлении»¹.

Интересно, что никто до Карно, по-видимому, не понимал по-настоящему этот принцип и вытекающие из него следствия. Даже Гераклит считал, что его вечный поток является циклическим процессом. Принцип Карно был признан с большим сопротивлением, и неоднократно

но делались попытки избежать его космологических следствий. Идея непрерывного изменения вселенной в одном и том же направлении до тех пор, пока не будет достигнуто полное тепловое равновесие, была чужда многим ученым. Эмиль Мейерсон обратил внимание на следующие примеры. Так, Геккель в 1900 году заявлял, что «если бы это учение об энтропии было правильно, то предполагаемому «концу» мира должно было бы соответствовать и «начало», минимум энтропии, при котором температурное различие между обособленными частями вселенной было бы наибольшим. С точки зрения нашей монистической и строго последовательной концепции вечного космогенетического процесса оба воззрения одинаково несостоятельны, оба противоречат закону субстанции... Второе основоположение механической теории теплоты противоречит первому и должно быть отвергнуто»¹. Он утверждал, что принцип Карно можно применять только к «отдельным процессам», но «в огромном же целом мироздания господствуют совершенно иные отношения». Подобным же образом химик Аррениус писал в 1909 году, что «если бы Клаузиус был прав, то эта «смерть тепла» за бесконечно долгое время существования мира давно бы уже наступила, чего, однако, не случилось». Кроме того, мы не можем предполагать, что имелось начало, так как энергия не может быть создана. Следовательно, «это для нас совершенно непонятно»². Комментируя приведенные утверждения, Мейерсон указал, что точка зрения и Геккеля, и Аррениуса определялась тем, что «люди науки испытывали как будто скрытое отвращение к идее постоянной изменчивости вселенной в одном и том же направлении», и это отвращение «коренилось в понятиях о сохранении»³.

Больцман пытался обойти космологические следствия принципа Карно, допуская возможность существования областей во вселенной, в которых тепловое равновесие достигнуто, и областей, в которых время течет в противоположную сторону по сравнению с течением времени в нашей звездной системе. Он полагал, что для вселенной в целом два направления времени неразличимы, так

ка «телеологический» в качестве неявного упрека. Однако ни один человек, имеющий дело с живыми существами, не может игнорировать эту направленность». (См. его работу: I. Z. Young, Evolution Nerveous System, в: «Evolution: Essays on Aspects of Evolutionary Biology», edited by G. R. de Beer, Oxford, 1938, p. 180.)

¹ См. Э. Мейерсон, цит. соч., стр. 281,

¹ Э. Геккель, Мировые загадки, М., 1937, стр. 290.

² С. Аррениус, Образование миров, М., 1909, стр. 147—148.

³ Э. Мейерсон, цит. соч., стр. 285,

же как в пространстве не имеется ни верха, ни низа. Позднее, в 1931 году, в дискуссии, организованной Бриганской ассоциацией, на тему «Эволюция вселенной» Оливер Лодж заявил, что второму закону термодинамики уделяется слишком много внимания и что «конечное и неизбежное увеличение энтропии до максимума является пугалом, идиолом, перед которым философам не следует преклонять колени».

Именно на этой дискуссии Э. Милн отметил логическую погрешность доказательства, согласно которому энтропия вселенной как целого автоматически стремится к максимуму. Он отметил, что для обоснования второго закона термодинамики требуется следующая дополнительная аксиома: где бы во вселенной ни происходил процесс, вселенную можно разделить на две такие части, что на одну из частей процесс совершенно не будет оказывать влияния¹. Эта аксиома, однако, автоматически исключает процессы, распространяющиеся на весь мир. Тем не менее Милн был достаточно осторожен и заметил: мы не можем сказать, что энтропия вселенной *не* увеличивается, ибо каждый локальный необратимый процесс вызывает такое увеличение. Мы можем сказать только то, что мы не имеем средства оценивать изменение энтропии для всей вселенной, так как мы способны вычислять такое изменение для «замкнутых систем», имеющих что-то вне себя, но вселенная *ex hypothesi* не имеет ничего (физического) вне себя.

Одна из самых смелых и наиболее радикальных попыток отказаться от существования какой-либо *объективной* временной направленности в физической вселенной была сделана в 1930 году видным специалистом в области физической химии Дж. Н. Льюисом². Он утверждал, что идея «стрелы времени», если использовать образное выражение Эддингтона, почти полностью обусловлена явлениями сознания и памяти и что во всех областях физики и химии достаточно понятия «симметричного» времени. Льюис заявил, что почти всюду из этих наук удалены идеи однонаправленного времени и однонаправленной причинности, как будто физики признавали, что эти идеи вводят посторонний «антропоморф-

ный элемент». Кроме того, по его мнению, в случаях, где эти представления вводятся, они всегда используются для поддержки какой-либо ошибочной доктрины: например, доктрины о том, что вселенная действительно «умирает». Вместо этого статистическая интерпретация термодинамики ведет к заключению, что* если вселенная конечна, то точно такое же настоящее состояние вселенной уже было в прошлом и повторится в будущем, так как любое состояние вселенной периодически повторяется, причем период конечен.

В простом, но типичном случае трех различных молекул в замкнутом цилиндре с перегородкой посередине, снабженной заслонкой, Льюис доказал, что энтропия общего *неизвестного* распределения этих молекул больше, чем энтропия какого-либо известного распределения, например, когда две молекулы находятся слева, а одна — справа. Он показал, что увеличение энтропии происходит тогда, когда мы после фиксирования какого-либо *известного* распределения открываем заслонку. Если, однако, заслонка сначала открыта, все восемь распределений следуют одно за другим, а если затем затвор закрывается так, что система фиксируется при определенном распределении, то никакого изменения энтропии не происходит. Следовательно, утверждал он, увеличение энтропии происходит только в том случае, если *известное* распределение переходит в неизвестное, и потеря, которой характеризуется необратимый процесс, есть *потеря информации*. Поэтому Льюис заключил, что прирост энтропии всегда означает потерю информации и ничего больше. «Это субъективная концепция, — писал он, — но мы можем выразить ее в менее субъективной форме следующим образом. Если на этой странице мы находим описание физико-химической системы вместе с некоторыми данными, которые позволяют отличить систему, то энтропия системы определяется этими отличиями. Если зачеркнуть какие-либо существенные данные, то энтропия станет больше; если добавить какие-либо существенные данные, то энтропия уменьшится. Ничего больше не надо для доказательства, согласно которому необратимый процесс не предполагает однонаправленного времени и не имеет никаких других временных предпосылок. Время не является одной из переменных чистой термодинамики».

¹ E. A. Milne, *Modern Cosmology and the Christian Idea of God*, Oxford, 1952, p. 149.

² Q. N. Lewis, «Science», 71, 1930, 569—577,

Льюис анализировал также роль времени в оптических и электромагнитных явлениях. По его мнению, законы оптики полностью симметричны относительно испускания и поглощения света. Если представить время обратимым, излучающие и поглощающие объекты поменяются ролями, но законы оптики не изменятся. Однако излучение частицы, по-видимому, находится в прямом противоречии с идеей симметрии времени, и он допустил, что испускание энергии в виде непрерывной сферической оболочки необратимо. Все части этой оболочки движутся от излучающего тела до тех пор, пока не встретят поглощающие тела, но некоторые части могут не встретить такие тела годами, тогда как другие встречаются с ними через малые доли секунды. Для истинной физической обратимости такого процесса была бы необходима фантастическая и искусственная среда, при помощи которой каждое из множества тел, размещенных на совершенно различных расстояниях, излучало бы каждое соответствующее количество энергии за соответствующее время и в соответствующем направлении, так что в окрестностях данной частицы все эти излучения могли бы сложиться в непрерывную сжимающуюся сферу. Тем не менее, не смущаясь соображениями такого характера, Льюис пошел навстречу им, заявив, что концепция симметричного времени непосредственно ведет к заключению, что основной процесс излучения должен быть процессом, в котором отдельная излучающая частица посылает свою энергию только одной поглощающей частице — другими словами, процесс согласуется с эйнштейновской теорией фотона.

В случае электромагнитной теории непосредственно видно, что уравнения Максвелла, подобно уравнениям классической механики, не изменяются, если обратить направление времени. Как же можно получить старую теорию излучения, в которой время однонаправленно, из уравнений, допускающих симметричность времени? Это происходит благодаря тому, что из двух симметричных решений, которые возникают при математическом анализе, только *запаздывающий потенциал* считается физически приемлемым. «Во всей истории физики, — писал Льюис, — не имеется более замечательного примера пренебрежения (suppression) физиками некоторых следствий их собственных уравнений из-за того, что эти

следствия не согласовывались со старой теорией однонаправленной причинности». Напротив, Льюис считал, что, если бы использовались *опережающие потенциалы*, а запаздывающие потенциалы были отброшены, мы получили бы электромагнитную теорию света, столь же хорошо согласующуюся с эмпирическими фактами, но при интерпретации этих фактов мы должны были бы рассматривать поглощающую частицу как активный объект, «всасывающий» энергию из всех частей пространства, имеющего вид сферической оболочки, сокращающейся со скоростью света. Льюис утверждал, что квантовая электродинамика не может быть создана в удовлетворительной форме до тех пор, пока запаздывающие и опережающие потенциалы не будут использоваться одновременно и симметрично.

Льюисом было показано, что теория равновесия вещества и излучения при постоянной температуре зависит от принципа, который впервые не в полном объеме использовался Больцманом, но который Льюис вывел как универсальный закон из своей идеи временной симметрии. Этот закон, в настоящее время обычно известный как *принцип детального равновесия*, утверждает, что *каждый* процесс превращения, происходящий в замкнутой системе при термодинамическом равновесии, способен идти в противоположном направлении, и процессы в обоих направлениях происходят одинаково часто. Выигрыш в каком-либо процессе уравнивается потерей в обратном процессе, так что любое самое детальное статистическое распределение процессов изменения, происходящих в равновесной системе при постоянной температуре, должно остаться таким же при изменении направления времени. Следовательно, в любой равновесной системе «время должно терять однонаправленный характер, который играет такую важную роль в развитии понятия времени»*.

. В квантовой

Acad.», А,

О» ч',

t a n a b e, «Rev

»,. 27, 1955, 26)

3. НЕОБРАТИМЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Аргументы, выдвинутые Льюисом в поддержку его теории симметричного времени, остроумны и сильны. Тем не менее, как пронизательно заметила М. Клюф, «нельзя все время полагаться на призрак времени»¹. Несмотря на неоспоримость ряда замечаний Льюиса, они оставляют вне внимания многие важные факторы.

Например, конкретный аргумент, с помощью которого Льюис пытался обойти свое собственное положение о том, что испускание непрерывной сферической оболочкой излучения, является существенно необратимым процессом, нельзя распространять на другие типы сферических волн. Ибо, как было указано К. Р. Поппером², отсутствие изотропных волн, сходящихся к источнику расходящихся волн, не является характерным только для света и электромагнитного излучения, а имеет место также в случае других видов явлений, например волн на поверхности воды, возбуждаемых каким-либо возмущением в определенном месте. Мы не можем объяснить кажущееся отсутствие временной симметрии в этих других случаях ссылкой на корпускулярную природу рассматриваемых явлений. Вместо этого мы вынуждены признать их существенную необратимость.

Замечательно простой, но изящный пример необратимости был описан Э. Милном в 1932 году. Милн отметил, что любой рой несталкивающихся частиц, движущихся с одинаковой скоростью по прямым линиям, занимавший конечный объем в некоторый определенный начальный момент, в конце концов, то есть через некоторый конечный промежуток времени, станет расширяющейся системой, даже если она первоначально была сжимающейся системой. Хотя Милн рассматривал множество частиц (имея в виду космологическую аналогию), для наших целей достаточно рассмотреть только две частицы. Если вначале они приближались друг к другу, то в конце концов они будут удаляться друг от друга. Но если они вначале удалялись друг от друга, они будут продолжать удаляться и никогда не станут сближаться. Таким обра-

зом, простейшая возможная кинематическая ситуация обнаруживает необратимость времени¹.

Другое обычное физическое явление, которое указывает на асимметрию между прошлым и будущим, представляет собою явление соударения. Действительно, хотя полностью упругое соударение можно считать обратимым во времени, мы не можем считать неупругие соударения обратимыми, особенно те соударения, которые нарушают относительное движение, например соударение падающего камня с землей. Обратимость времени в этом случае привела бы к совершенно мистическим явлениям, когда первоначально неподвижный камень вдруг начал бы самопроизвольно подниматься вверх с большой скоростью. В отличие от явления соударения, которое непосредственно понятно безотносительно к причине первоначального движения камня, если таковая имеется, обратное явление было бы необъяснимым. Ибо, даже если бы мы ввели понятие отталкивающей силы, мы все же не смогли бы объяснить, почему камень начал двигаться в данный момент, а не в другой.

Более того, область оптических и электромагнитных явлений дает ряд примеров временной асимметрии, о которых Льюис не упоминает. Например, в своем изложении эйнштейновской первой теории излучения и поглощения света молекулами Уиттэкер недвусмысленным образом обратил внимание на то, что «так как имеется самопроизвольное излучение, но не самопроизвольное поглощение, то существует асимметрия между прошлым и будущим»².

Анализ Льюиса также полностью игнорирует наблюдателя и условия его восприятия. Так, Льюис не принял во внимание, что мы можем воспринимать только прихо-

¹ Отвергая это заключение, Т. Голд на недавней Сольвейской конференции («La Structure et l'Evolution de l'Univers», ed. R. Stoops, Bruxelles, 1958, p. 95) утверждал, что если частицы могут рассматриваться в конце концов как бесконечно удаляющиеся друг от друга, то и вначале их можно рассматривать бесконечно далекими друг от друга. Однако существенно, что частицы вначале находятся на *конечном* расстоянии друг от друга и всегда остаются на конечном расстоянии, когда в конечном счете мы видим, что они сходятся. Поэтому критика со стороны Голда не затрагивает сути вопроса.

² E. T. Whittaker, A History of the Theories of Aether and Electricity: The Modern Theories (1900—1926), London, 1953, p. 198.

¹ M. F. Cleugh, «Time», London, 1937, p. 165.

² K. R. Popper, «Nature», 177, 1956, 538; 179, 1957, 1297; 181, 1958, 402.

Дящий, но не уходящий свет. Следовательно, если бы время было обратимо и звезды получали свет от нас вместо того, чтобы излучать его к нам, они были бы невидимы. В видимой части вселенной отношение между прошлым и будущим должно совпадать с нашим собственным, по крайней мере постольку, поскольку это касается испускания света.

Норберт Винер¹ проанализировал гипотетическую ситуацию сосуществования с разумным существом, «время которого течет в обратном направлении по отношению к нашему времени. Для такого существа никакая связь с нами не была бы возможна. Сигнал² 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. Если бы оно нарисовало нам квадрат, остатки квадрата представились бы нам предвестниками последнего и квадрат казался бы нам любопытной кристаллизацией этих остатков, всегда вполне объяснимой. Его значение казалось бы нам столь же случайным, как те лица, которые представляются нам при созерцании гор и утесов. Рисование квадрата представлялось бы нам катастрофической гибелью квадрата — внезапной, но объяснимой естественными законами. У этого существа были бы такие же представления о нас. Мы можем сообщаться только с мирами, имеющими такое же направление времени».

4. ЭВОЛЮЦИЯ

Другим крупным недостатком анализа времени, проведенным Льюисом, является отсутствие какого-либо упоминания о процессах, связанных с «длительными» промежутками времени, то есть о процессах, происходящих в течение многих миллионов лет. Имеются в виду те самые процессы, которые, когда ученые стали детально изучать их, заставили людей вообще поставить под сомнение стародавнюю веру, что общее состояние мира ос-

тается более или менее неизменным. Астрономия и палеонтология явились науками, которые соприкоснулись с этими процессами давно, но идея эволюции проникла в эти науки сравнительно недавно. Действительно, до тех пор, пока около двухсот лет назад философ Иммануил Кант не поставил вопрос об эволюции Млечного Пути, астрономия, по-видимому, являлась наукой *par excellence* симметричного времени. Аналогично до XIX столетия концепция биологической эволюции оказывала слабое влияние на человеческий образ мышления о мире.

Представление о необратимости органической эволюции было названо законом Долло по имени бельгийского палеонтолога¹, который обратил внимание на то, что справедливость этого закона², доказывается имеющимися ископаемыми остатками³. Направление эволюции представляет собой, однако, более тонкое понятие, чем кажется с первого взгляда. Как было найдено при лабораторных исследованиях, микромутации, которые, как полагают генетики, являются начальной точкой биологических эволюционных изменений, в основном обратимы (во многих случаях частота обратного процесса сравнима с частотой первоначальной мутации⁴), и поэтому они «не являются направленными». Согласно неodarвинистскому взгляду, необходимость филогенетического процесса надо поэтому приписывать действию естественного отбора. Это действие считается автоматическим, или саморегулирующимся⁵ процессом, при котором диффе-

¹ L. Doll o, «Bull. Soc. Beige Geol. Pal. Hydr.», 7, 1893, 164.

² Одним из наиболее известных примеров являются псевдозубы эоценовой птицы *Odontopteryx*. Вместо того чтобы снова приобрести свои утерянные зубы, ее клюв и нижняя челюсть приобрели пилообразную форму.

³ Около 1800 года Жиро Сулави первый понял, что стратиграфическое расположение горных пород (в данном случае третичных пород Парижского бассейна) можно рассматривать как хронологический порядок.

⁴ N. W. Timof'eeff-Ressovsky, K. G. Zimmer and M. Delbruck, «Nachr. Ges. Wissen. Gottingen, Math.-phys. Kl. Fachgruppe VI Biologie, Neue Folge», 1, 1935, 234—245.

⁵ Благодаря тому, что живой организм непрерывно стремится к увеличению количества вещества внутри себя — *биомассы*. Общая биомасса рыб в море, вероятно, превосходит биомассу любого предшествующего типа морских животных. Аналогично биомасса всех птиц в мире (порядка ста тысяч миллионов) меньше биомассы всех млекопитающих (J. S. Young, *The Life of Vertebrates*, Ox-

¹ Н. Винер, Кибернетика, Связьиздат, М., 1958, стр. 52,

ренцированное выживание и воспроизведение стремятся устранить некоторые генетические комбинации и покровительствуют другим, более ценным с точки зрения приспособляемости. Решающим фактором, который, по-видимому, обуславливает почти неизбежную однонаправленную тенденцию органической эволюции, является сравнительная невероятность повторения частной комбинации данного множества мутаций и данной среды, так что случаи перескакивания ступеней эволюции быстро уменьшаются с увеличением сложности организмов и среды. Таким образом, согласно этому взгляду, новые мутации ведут к новым способам приспособления организмов к их среде и последующее действие естественного отбора создает те характерные черты, которые заставляют нас думать об эволюции в смысле направления и тенденции.

К сожалению, на пути этого стандартного объяснения имеется много трудностей. Одна из наиболее серьезных заключается в невозможности с помощью естественного отбора объяснить непрогрессивное развитие. Особенно это очевидно в случае растений. По сравнению с животными они являются пассивными организмами и, как можно было бы ожидать, обнаруживают сравнительно небольшое эволюционное развитие. С другой стороны, цветковые растения, наиболее молодые и высокоразвитые, имеют значительно большее число видов, чем млекопитающие. Сам Дарвин понимал это, когда он в 1879 году писал Хукеру, что «быстрое развитие, насколько мы можем судить, всех высших растений в недавние геологические времена представляет неприятную тайну»¹. Действительно, в растениях основные различия (например, пестика или чашечки цветка), по-видимому,

ford 1950 p. 409). А. Дж. Лотка полагает (A. J. Lotka, The Law of Evolution as a Maximal Principle, «Human Biology», 17, 1945, 167), что «направление» эволюции обеспечивается следующим основным принципом: коллективные усилия живых организмов направлены на максимальное увеличение как энергии, получаемой ими от Солнца, так и потери свободной энергии при процессах распада, происходящих внутри них (а также при гниении мертвых организмов). Таким образом, общий поток энергии, проходящий через биомассу, стремится к увеличению, птицы и млекопитающие перерабатывают энергию быстрее, чем более низкие классы позвоночных.

¹ C. Darwin, More Letters, ed. F. Darwin and A. G. Weward, vol. II, London, 1903, p. 20.

не дают никакого преимущества в борьбе за существование. Дж. К- Уиллис обратил внимание на замечательную множественность формы в семействе водных растений, известных как Postodemaceae (около 40 родов и 160 видов), которые растут в исключительно единообразных условиях на ровных обезвоженных породах. Уиллис писал: «Представляется, что в подобных случаях, если, возможно, не в большинстве случаев, эволюция должна продолжаться независимо от того, имеется ли для нее какая-либо причина, требуемая приспособлением, или нет»². Поэтому Уиллис утверждал, что естественный отбор — который, как он предлагал, более правильно можно назвать «естественной элиминацией» — представляет не движущую силу эволюции, но только регулирующую силу, которая определяет, может ли данная форма выжить.

Одна из особенностей мутаций заключается в том, что почти все мутации, изученные генетиками, являются неблагоприятными. Поэтому представляется, что эволюция должна происходить «вопреки натиску враждебных мутаций»³. Однако, независимо от того, обусловлена ли на самом деле эволюция естественным отбором³ в высшей степени редких благоприятных мутаций или некоторыми другими факторами, существует общее мнение, что мы не можем исследовать проблему с помощью филогенетических экспериментов вследствие, по-видимому, непреодолимых трудностей, связанных со шкалой времени.

¹ J. C. Willis, The Course of Evolution, Cambridge, 1940, p. 21.

² R. A. Fisher, «Science Progress», 27, 1932, 273.

³ Естественный отбор, несомненно, не является единственной формой эволюционного механизма. Недавно внимание было привлечено к другим механизмам, а именно: (1) научение методом проб и ошибок и (2) «дифференциация» в развитии клетки, то есть процесс, при котором некоторые факторы цитоплазматической среды развивают (augment) автосинтетические и гетеросинтетические способности особых групп (гипотетических) единиц цитоплазмы, известных под именем «плазмагенов», за счет других групп (S. Spiegelman, «Symp. Soc. Exp. Biol.», II, Cambridge, 1948, 286—325). Оба процесса являются как саморегулирующимися, так и саморазвивающимися и в ходе своего развития все с большим трудом поддаются обращению.

Принципиальная разница между естественным отбором и научением относится к соответствующим им шкалам времени: влияние естественного отбора на эволюцию органических форм обычно становится заметным только через миллионы лет, тогда как влияние научения на характер поведения может быть очень быстрым. В слу-

Вместо этого наиболее обнадеживающий путь исследования представляет новая наука — геохронология. К настоящему времени один из наиболее значительных результатов, полученных с применением современной методики определения возраста в палеонтологии, привел к выводу/ что при обычных условиях, по-видимому, требуется определенный минимум времени (около пятисот тысяч лет) для срока превращения одного вида животного царства в другой¹. Другими словами, *число следующих друг за другом поколений, по-видимому, значительно менее важно, чем действительная длительность требующегося времени*². Более того, рассматриваемый с точки зрения времени³ процесс эволюции выглядит явно скачкообразным, протекающим в виде вспышек «взрывной эволюции». Ибо, когда возникает основная группа, обычно появляются также ее главные разновидности. (После чего имеется значительный промежуток времени, в течение которого эволюция менее стремительна и когда все рассматриваемые виды постепенно вырождаются и вымирают.)

чае человека обучение методом проб и ошибок, преобладающее в современном научном методе, стало решающим фактором, контролирующим социальное развитие. Этот факт согласуется с общей тенденцией прошлого биологического эволюционного «прогресса», характеризующегося увеличением контроля организма над своим окружением и растущей независимостью от изменений среды — например, гомотермия у птиц и млекопитающих (J. Huxley, «Nature», 180, 1957, 454).

¹ F. E. Zeuner, *Dating the Past*, London, 4th edn., 1958, p. 392.

² В пользу этого заключения говорят эксперименты по размножению, которые показывают, что мутации (у бактерий) происходят за постоянный промежуток времени независимо от числа поколений (ссылки см. в F. E. Zeuner, *op. cit.*, p. 393).

³ Цейнер (F. E. Zeuner, *op. cit.*, p. 399) пишет: «Я уверен, что в конце концов абсолютная хронология приобретет такое же значение в исследовании эволюции, какое даты и календари имеют ныне в изучении человеческой истории. В любом отношении стоит работать ради этой цели». Кроме своих собственных исследований, Цейнер ссылается также на «ценную работу» палеозоолога Дж. Дж. Симпсона (Q. Q. Simpson, *Tempo and Mode in Evolution*, «Columbia Biol. Sen», 15, New York, 1944) и палеоботаника Дж. Смолла (J. Small, *Quantitative Evolution*, Серия статей). Подробные ссылки см. у Цейнера (F. E. Zeuner, *op. cit.*, p. 488). См. также F. E. Zeuner, J. Small and O. H. Schwindewolf, *A Discussion of Time-rates in Evolution*, «Proc. Linn. Soc. London», 162 (2) 1951, 124—147. Попытки определить количественные меры эволюционного изменения были сделаны также

Согласно Цейнеру, из геохронологических данных вытекает, что идея Дарвина об эволюции, идущей маленькими ступеньками, не может быть полностью верной. Однако «прерывистую» эволюцию даже менее вероятно обратить, чем непрерывную. Поэтому мы можем заключить, что *независимо от того, имеет ли место нетелеологический отбор случайных микромутаций или некоторый врожденный «стимул» живого организма, эволюционный процесс должен рассматриваться существенно необратимым и что «аммониты, динозавры и лепидодендроны уже не появятся снова»*¹.

В противоположность одностороннему процессу биологической эволюции история земной поверхности с первого взгляда кажется циклической. Тем не менее и она, взятая за достаточно большой промежуток времени, обнаруживает очевидную направленность. Вздвигание материковых масс из океанских глубин зависит от различных движений Земли. Хотя их причины выяснены еще не полностью, в общем считается, что существенное значение имеет раскаленное ядро Земли. Так как теплота постоянно излучается Землей во внешнее пространство, необходимо постулировать наличие непрерывного источника внутреннего тепла, который поддерживал бы поток. Эта проблема была исследована в конце прошлого века Кельвином, который вычислил, что для объяснения известной скорости потери земного тепла следует предположить, что поверхность Земли должна была быть расплавленной около сорока миллионов лет назад и, следовательно, этот срок должен быть верхним пределом возраста горных пород. Палеонтологи и специалисты по биологической эволюции сильно возражали против

Дж. Б. Холдэйном (J. B. S. Haldane, «Evolution», 3, 1949, 51—56) и Л. С. Палмером (L. S. Palmer, *Man's Journey through Time*, London, 1957). Холдэйн предложил в качестве единицы *дарвина*, который он определял как темп эволюции, при котором измеряемая характеристика изменялась на одну тысячную за тысячу лет. Это определение фактически предполагало, что временной темп изменения какой-либо характеристики, или индекса, следует экспоненциально закону. Палмер (L. S. Palmer, *op. cit.*, p. 148), сравнивая *Pithecanthropus rekinensis* и современного человека, нашел, что темп изменения индекса «отношение длины черепа к его высоте» составляет около 1,03 дарвина. Это указывает на быстрый темп эволюции, типичный для новых видов.

¹ H. F. Blum, *Time's Arrow and Evolution*, Princeton, 1951, p. 201.

результата Кельвина, а на рубеже нынешнего века совершенно неожиданно был открыт новый источник земного тепла, — явление радиоактивности. Вскоре обнаружилось, что радиоактивные элементы широко распространены в земной коре и что при радиоактивных превращениях элементов выделяется тепло. В настоящее время известно, что этого тепла вполне достаточно для восполнения потерь во внешнее пространство. Следовательно, поверхность Земли может сохранять современный температурный режим примерно тысячи миллионов лет. Внутренние части Земли тоже могут поддерживаться при¹ относительно высокой температуре такое же время и даже дольше. Действительно, У. Д. Юри вычислил, что Земля не потеряет весь свой запас атомного топлива по крайней мере 150000 миллионов лет¹. Начиная с кембрийской эры в продолжение последних 500 миллионов лет не замечено какого-либо значительного уменьшения активности земной коры или вулканов, и это соответствует вычислениям, показывающим, что количество теплоты за этот период уменьшилось не более чем на четыре процента. Тем не менее, несмотря на этот огромный длины период, в продолжение которого прошлый облик земной поверхности может сохраняться, несомненно, что на основе современного знания можно заключить о неизбежной общей тенденции к устойчивому состоянию, когда все континенты в конце концов скроются под волнами всемирного океана.

Когда мы переходим к рассмотрению излучения энергии Солнцем и звездами, мы снова сталкиваемся с однонаправленными процессами. Пусть мы больше не соглашаемся с гипотезой Кельвина и Гельмгольца, что Солнце поддерживает свою громадную мощность благодаря процессу постоянного сжатия, при котором гравитационная энергия превращается в электромагнитную, и поэтому не разделяем больше вывод, что Солнце может продолжать излучать только около двадцати миллионов лет. В настоящее время мы считаем, что солнечное излучение порождается освобождением ядерной энергии. Теплота Солнца, таким образом, поддерживается превращением материи в излучение. Этот процесс может

¹ L. Hawkes, *Geology and Time*, Abbott Memorial Lecture, University of Nottingham, 1952, p. 14.

продолжаться постоянно тысячи миллионов лет, но из-за отсутствия какого-либо известного компенсирующего процесса он не может продолжаться бесконечно.

Этот процесс повторяется в более общем, громадном масштабе, во вселенной в целом, поэтому локализованные источники непрерывно рассеивают энергию в глубины пространства. Отношение этого явления к проблеме пространственного протяжения вселенной было впервые рассмотрено Ольберсом, который задумался над вопросом, почему конечна светимость небесного свода¹. Для данного обсуждения, однако, значительной проблемой является временная история вселенной. Простой факт, что звезды и галактики доступны нашему наблюдению, по-видимому, означает, что они не вечны и что они имеют эволюционную историю, если только отсутствуют некоторые неизвестные процессы, обеспечивающие их неисчерпаемыми запасами энергии. Таким образом, даже если темное вещество вселенной, либо рассеянное, либо сконцентрированное, может в принципе существовать всегда, очевидно, что общий вид вселенной должен в конце концов измениться — что ее настоящий «яркий» вид должен иметь начало и в конце концов придет к концу. Единственным спасением от этого вывода является или постулирование творения новых звезд и излучающих энергию источников, или признание, как предлагалось раньше, что звезды представляют собой неисчерпаемые источники.

В соответствии с мнением специалистов термоядерные процессы теперь единодушно рассматриваются как источник звездной энергии. Следовательно, наиболее яркие звезды считаются сравнительно короткоживущими. Из закона Эддингтона, согласно которому светимость есть функция массы, следует, что, так как темп потери массы при термоядерных процессах очень мал, звезда, подобная Солнцу, стремится излучать энергию с постоянной скоростью. Считается, что так могло быть в течение прошедших четырех или пяти миллиардов лет. Напротив, если бы Ригель светился так, как сейчас, и во времена, когда, по-видимому, на Земле образовывался каменный уголь, то есть около двухсот миллионов лет назад, то сейчас его светимость была бы другой. Мы

¹ H. W. M. Olbers, «Bode's Jahrbuch, 1826, S. 110.

приходим, таким образом/к выводу, что он начал светиться так уже после того, как на поверхности Земли появилась жизнь. Действительно, имеются некоторые звезды, начавшие, по-видимому, светиться менее миллиона лет назад. Если такие звезды стали излучать так же недавно, то вполне вероятно, что новые звезды образуются в Млечном Пути даже теперь.

Ясно, что эти соображения имеют важное отношение к нашей проблеме временного изменения всей структуры звездной системы.¹ Если непрерывно образуются новые звезды, можно считать, что небеса могут бесконечно сохранять один и тот же общий вид, как утверждал Аристотель. Тем не менее трудности остаются. При помощи какого процесса образуются новые звезды? Наиболее правдоподобно предположение, что они образуются при гравитационной конденсации диффузной материи. Это предположение находит некоторую поддержку в том факте, что во внегалактических туманностях, как мы обнаруживаем, области, в которых сосредоточены большие количества темного диффузного вещества, являются также областями, изобилующими сравнительно короткоживущими очень яркими звездами. Для бесконечной продолжительности процесса существует неисчерпаемый источник диффузной материи. В основном наиболее приемлемым механизмом, посредством которого может образовываться такая материя, является гигантский взрыв новой или сверхновой звезды. Тем не менее, несмотря на полное разрушение звезды, этот механизм не может быть бесконечным источником межзвездного вещества и цикл не может продолжаться до бесконечности. Итак, по-видимому, наша звездная система, Млечный Путь, должна, подобно составляющим ее звездам, также иметь эволюционную историю.

Однако Млечный Путь является только одной звездной системой среди мириад звездных систем, и теперь мы должны рассмотреть большую систему всех таких звездных систем, систему галактик. Компоненты этой системы, по-видимому, имеют свои индивидуальные эволюционные тенденции, но как ведет себя система в целом? По аналогии с новыми звездами, не находятся ли в процессе образования новые галактики?

Наиболее правдоподобным механизмом образования системы галактик снова является конденсация диффуз*

ной материи, в данном случае межгалактической материи. Данные о существовании такой материи в заметных количествах значительно менее убедительны, чем данные

• О существовании межзвездной материи внутри галактик. Тем не менее, как теоретически показали Бааде и Шпитцер, возможно, что диффузный материал может быть извергнут в межгалактическое пространство при столкновении двух галактик и при прохождении их друг через друга без столкновения их звездных компонент.¹ Этот извергнутый материал может служить потенциальным источником образования новых галактик, но опять мы, по-видимому, сталкиваемся с подобными же трудностями. Таким образом, очевидно, что в большой промежуток времени система галактик сама должна изменяться и тем самым следовать по своему собственному эволюционному пути.

Как в земном, так и в небесном масштабе имеются многочисленные данные о направленности времени во вселенной, когда рассматриваются достаточно долгие промежутки времени. Тем не менее эти данные не вынуждают нас полагать, что должна иметься временная направленность вселенной. Ибо даже если все процессы природы в большом масштабе сами необратимы, вселенная в целом не обязательно должна иметь эволюционную историю либо потому, что ее общий вид всегда один и тот же, либо потому, что она проходит через бесконечный ряд идентичных циклов. Если, однако, мы станем рассматривать эту проблему однонаправленного времени по отношению ко всей физической вселенной, а не только по отношению к индивидуальным объектам внутри вселенной, мы столкнемся с более глубокими проблемами, чем те, которые рассматривались нами до сих пор.

6. НАЧАЛО ТЕЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Космологические проблемы играют в современной физике особую роль. Общепринято, что научная революция, которая достигла своей высшей точки в XVII сто-

¹ W. Baade and L. Spitzer, «Astrophysical Journal», ИЗ, 1951г. №. 413.

летай, обязана своим успехом тому факту, что такие натурфилософы, как Галилей, перестали рассуждать о мире в целом и сосредоточили свое внимание на определенных частных проблемах, в которых конкретные вещи и процессы рассматривались изолированно от их окружения. Декарт критиковал Галилея именно за это. Соглашаясь с Галилеем, протестовавшим против схоластики и верившим, что математика должна помочь в исследовании физических проблем, Декарт утверждал, что Галилей «непрерывно уклоняется от сути и не решает полностью ни одной проблемы; это показывает, что... не рассматривая первые причины природы, он ищет только причины некоторых частных фактов и возводит здание тем самым без какой-либо основы»¹. Большим недостатком картезианского отношения к физическому исследованию являлась опора на принцип, гласящий, что до познания чего-нибудь мы должны, вообще говоря, знать все. С другой стороны, позиция Галилея основывалась на принципе выделения и постепенного исследования. Благодаря тому, что он справедлив, только, если пренебречь многими факторами, исследователь получает право многое и не знать. Главным образом по этой причине ньютоновская физика в конечном счете заменила картезианскую. Ньютон знал о механизме гравитации не больше Декарта, но он в отличие от Декарта преуспел в постепенном разрешении этого вопроса.

Рассмотрение других основных представлений классической физики дает дальнейшие доказательства успешности и в то же время ограниченности такого образа действий. Ньютоновское пространство абсолютно, но проблема его идентификации успешно обходится благодаря принципу относительности Ньютона. Таким образом, хотя проблема пространства ставилась как космологическая проблема, была построена специальная методика обхода космологических сторон проблемы. Особенно следует отметить аналогичную трактовку энергии, так как она весьма похожа на трактовку времени. Успешность применения понятия энергии зависит от представления о потенциальной энергии. Классическая физика не могла дать исчерпывающего правила для ее

о)
»

измерения, но она избегает этой трудности, сосредоточиваясь на проблемах, в которых нам надо знать только различие в значениях этой энергии. Аналогично в классической физике не имеется исчерпывающего правила для определения времени событий, но на практике это не имеет значения, так как необходимо* знать только разности времен. Таким образом, начала отсчета, или нулевые точки, измерения как потенциальной энергии, так и времени произвольно выбираются исследователем; другими словами, они чисто конвенциональны. Поэтому эти конвенции можно считать средствами, с помощью которых классическая физика избегала рассмотрения естественного нулевого значения потенциальной энергии и естественного начала отсчета времени. Пренебрегая этими факторами, физик допускал методологические упрощения, но в результате этого появлялась опасность впасть в философское заблуждение и полагать, что те самые факторы, которыми он пренебрег, *ipso facto* не существуют. На деле метод выделения и конвенции и заостряет, и суживает наше исследование, налагая на него ограничения.

С математической точки зрения начало течения времени, если оно имеется, относится к «минус бесконечности», а это на практике означает, что оно несущественно и служит только для различения времени. Эта несущественность начала течения времени прямо связана с тем, что временная переменная не появляется явно в математической формулировке основных законов физики. Косвенно она также связана с тем фактом, что законы классической механики обратимы и не делают различия между прошлым и будущим. В классической механике не имеется никакого особого периода времени, который может служить фундаментальной точкой отсчета, по отношению к которой можно было бы различить более раннее и более позднее. Второй закон термодинамики дает основание предполагать возможность существования конечной точки в будущем, но, как мы видели, применение этого закона в космологии представляет собой спорную гипотезу. Однако эта трудность не освобождает нас от обязанности рассмотрения проблемы естественного начала течения времени.

В 1871 году Гельмгольц в известной лекции по космогонии утверждал, что ученый не только имеет право,

¹ L. Beck, *The Method of Descartes*, Oxford, 1952, p. 242,

но и обязан исследовать, действительно ли «предположение о вечной законности явлений природы приведет нас непременно на основании настоящего состояния к неверным заключениям о прошедшем или будущем или же к нарушению законов природы, к такому началу, которое не может быть вызвано известными нам законами и явлениями». Как справедливо подчеркнул Гельмгольц, этот вопрос не пустая спекуляция, ибо он касается границ справедливости существующих законов. По этому вопросу была и до сих пор есть значительная путаница. Естественное начало течения времени часто смешивают с эпохой сотворения вселенной. Такая эпоха, конечно, была бы началом физического времени, но нет необходимости вводить это философски трудное понятие. Идея начала течения времени проще всего может возникнуть и действительно возникает в физике как предел, накладываемый на нашу экстраполяцию в прошлое законов природы. Строго говоря, вопрос о том, считать или не считать этот предел эпохой сотворения мира, представляет метафизический вопрос, лежащий вне самой науки. Мы можем разделить законы физики на две группы в зависимости от того, возможна или невозможна в принципе их бесконечная экстраполяция в прошлое. Все законы, попадающие во вторую группу, открыты сравнительно недавно, например закон радиоактивного распада Резерфорда — Содди.

Согласно этому закону, число атомов данной концентрации естественного радиоактивного элемента, например урана-238, которое распадется в течение малого интервала времени dt , пропорционально числу W атомов этого элемента, существующих в начале интервала, причем коэффициент пропорциональности λ не зависит от таких физических условий, как температура и давление. Таким образом,

$$dN/dt = -\lambda N,$$

где величина $1/\lambda$ представляет интервал времени, характеризующий рассматриваемый особый элемент. Действительно, мы находим, что

$$1/\lambda = a/1\pi^2,$$

¹ Г. Гельмгольц, Популярная речь, часть II, СПб., 1899, стр. 153.

где a — полупериод распада. Этот закон не выделяет особое начало течения времени, но сразу видно, что он накладывает предел на прошлую историю того вещества, к которому он применим. Ибо если бы мы попытались проэкстраполировать закон обратно в бесконечное прошлое, мы нашли бы, что само N должно быть тогда бесконечным.

Однако, строго говоря, это является не бесконечной экстраполяцией в прошлое рассмотренного закона радиоактивного распада, но экстраполяцией применения этого закона к данному радиоактивному источнику. Источник должен иметь начало во времени, хотя другие радиоактивные источники могли существовать еще раньше. Тем не менее имеется существенное различие между законами радиоактивного распада и законом всемирного тяготения, ибо последний сам не накладывает какого-либо временного ограничения на его применение к данной системе тел.

Концепция естественного ограничения экстраполяции физического закона в прошлое возникает в связи с гипотезой расширения вселенной. Было обнаружено, что спектральные линии внегалактических туманностей смещены к красному концу спектра, и чем более удалены галактики, тем больше смещение. Настоящие данные совместимы с гипотезой (и наиболее естественно объясняются ею), что эти звездные системы удаляются от Млечного Пути. Найдено, что распределение этих систем на небе, если учесть наличие поглощающей материи внутри Млечного Пути, приблизительно изотропно, и наиболее убедительным аргументом считается то, что вся система внегалактических звездных систем образует каркас всей физической вселенной. Более того, полагают, что составляющие этой системы удаляются не только от Млечного Пути, но и друг от друга. Если бы эти представления оказались правильными, тогда стало бы очевидным, что вселенная как целое не может пребывать в устойчивом состоянии, а должна расширяться. Следовательно, вся вселенная, а не только объекты внутри вселенной должна была бы иметь эволюционную

¹ Конечно, если только не действует некий компенсирующий процесс, как было предположено защитниками гипотезы непрерывного творения (см. стр. 38).

историю; также мог бы иметься конечный предел прошлого времени, так как система начала расширяться из своего наиболее сгущенного состояния, и в таком случае имелось бы естественное начало течения времени.

Однако эти выводы не следуют автоматически из гипотезы, согласно которой наблюдаемые смещения спектров обусловлены эффектом Доплера, связанным с движением по лучу зрения от наблюдателя, так как мы знаем только спектральные смещения галактик, наблюдаемые сегодня, и возможно, что в далеком прошлом земной наблюдатель наблюдал бы другие смещения. Если бы спектральные смещения в прошлом были меньше, чем теперь, то наши выводы можно было бы видоизменить. Например, если бы эти смещения существенно убывали при удалении в прошлое, мы смогли бы примирить гипотезу расширения с возможностью бесконечно долгой меры для периода прошлого времени. Были предложены две следующие альтернативы. Или система расширялась всегда, но прошло бесконечное время с тех пор, как начался этот процесс, или она попеременно расширяется и сжимается, наподобие концертино; у этого движения не было начала и не будет конца.

Обычно считается, что первая альтернатива приводит к фиктивной вечности прошлого времени, и любая определенная стадия в расширении отделена от настоящей конечным промежутком времени. Поэтому рассматриваемая ситуация аналогична ситуации с выбором различных шкал температуры. На шкале Кельвина имеется абсолютный нуль температуры (около $-273,16^{\circ}\text{C}$), и нельзя экстраполировать физические законы по ту сторону этого температурного предела¹. С помощью соответствующего математического преобразования мы можем сопоставить с этим пределом отрицательную бесконечность, но полученная область температур в действительности все же будет конечной, ибо на практике мы можем только приближаться к абсолютному нулю и никогда не можем достичь его. Любая другая температура на шкале Кельвина, как бы близка ни была она к этому пределу, оставалась бы конечной на новой шкале. Аналогично, если бы спектральные

¹ Мы не рассматриваем новые идеи относительно отрицательных температур,

смещения внегалактических туманностей медленно уменьшались при удалении в прошлое, с ними можно было бы связать только фиктивную¹ бесконечность прошлого времени. Математическим преобразованием временной шкалы ее можно было, сопоставить с конечным интервалом.

С другой стороны, идея чередования фаз расширения и сжатия вселенной может привести к подлинной бесконечности прошлого времени и соответственно к исключению естественного начала течения времени, состоящего из бесконечного ряда аналогичных циклов. Но для согласования этой идеи с конечной, по-видимому, историей жизни индивидуальных звезд и галактик необходимо предположить, что перед началом каждого нового цикла звезды и галактики создаются заново из материала, остающегося от предыдущего цикла. Хотя мы не знаем, каким образом могут происходить такие явления, и, следовательно, должны рассматривать всю эту идею как явную спекуляцию, гипотезы, связанные с концепцией циклической вселенной, в различные века и в различных цивилизациях представляли для человеческого ума огромную притягательную силу. Эти идеи, по-видимому, получали неоспоримую поддержку из наблюдений, свидетелевавшего, что движения небесных тел, очевидно, были периодическими, так что при их подробном анализе эллинические астрономы выдвинули в качестве соответствующей схемы для их изучения вращения ряда колес, как в птолемеевской теории эпициклов*. Аналогично еще ранее идея циклической вселенной связывалась с понятием «великий год»². «Великий год»

¹ Другими словами, все события действительно были бы заключены на конечном отрезке прошлого времени (отсчитывая от настоящего), и рассматриваемая бесконечность была бы только особенностью математического аппарата и не соответствовала бы бесконечной последовательности фактических событий.

² Наиболее известное из всех древних упоминаний «великого года» находится в сочинениях Платона. В известном туманном отрывке из «Государства», VIII, 546, описывается мистическое число, которое считается оценкой числа дней в «великом году». Этот период устанавливается в 36000 лет. Было много рассуждений о происхождении этого числа, причем наиболее интересные из них приписывали числу Платона астрономическое значение и связывали этот особый период времени с открытой Гиппархом прецессией равноденствий. Гиппарх оценивал период прецессии в 36000 лет, что сравнимо с современной оценкой в 25900 лет, но давал Платон, который

представлял интервал, после которого, как считалось, все небесные явления повторялись. Даже Гераклит, основывающий свою космологию на понятии «вечного потока», постулировал цикл в 10800 лет¹.

Хотя в современную эпоху идея вечного круговращения получила дурную славу и возобладали идея физической, а также органической эволюции, делаются непрерывные попытки обойти идею естественного начала течения времени. Открытие красного смещения в спектрах внегалактических туманностей и корреляция этого смещения с расстоянием до галактик, по-видимому, явились убедительным доказательством того, что сама вселенная расширяется и, таким образом, имеет эволюционную историю, возможно, с естественным началом течения времени. Во-первых, обычный способ уклониться от этого вывода состоит в том, чтобы заронить сомнение в интерпретацию смещения спектров как доплеровского смещения, связанного с удалением галактик от нас. Обсуждались различные альтернативные объяснения, но ни одно из них не стало общепринятым, так как все они, очевидно, по существу неправдоподобны.

Для того чтобы согласовать представление о взаимном удалении с убеждением, что вселенная действительно вечна и ее общий вид не изменяется с течением времени, было предположено², что, в то время как старые галактики стремятся удалиться друг от друга, непрерывно образуются новые галактики и заполняют возрастающие промежутки, которые в противном случае появились бы. Для непрерывного продолжения такого процесса существенно, чтобы во всей вселенной непрерывно творилась новая материя или в форме звезд и туманностей,

жил почти за два столетия до Гиппарха, был совершенно незнаком с этим явлением. В «Тимее» (39 Д), говоря о движениях планет и т. д., Платон утверждал, что «совершенное число времени исполняется, что полный (великий) год свершается, когда все восемь вращений — различных по скорости, дойдя до своего конца, вместе с тем снова приходят к своему исходному пункту, после периода времени, измеряемого круговращением того (бытия), которое всегда есть то же самое и имеет равномерное движение». «Диалоги Платона «Тимей (или о природе вещей)» и «Критий», Киев, 1883, стр. 100.

¹ G. S. Kirk, Heraclitus, The Cosmic Fragments, Cambridge, 1954, p. 302.

² H. Bondi, Cosmology, Cambridge, 1952, Chapter XII.

или, более вероятно, в форме индивидуальных нейтральных атомов водорода, которые постепенно собираются вместе благодаря гравитационному притяжению, образуя звезды и галактики, каждая с определенной историей жизни, хотя система как целое не имеет своей собственной истории. Вызывающее затруднения понятие происхождения мира во времени в результате автоматически устраняется, и идея эволюции индивидуальных объектов комбинируется с идеей неизменности вселенной как целого благодаря постулированию непрерывного творения материи из ничего.

Тем не менее идея непрерывного процесса творения новых частиц также связана с серьезными теоретическими трудностями. Несмотря на это, идея вечной вселенной, в которой непрерывно творятся новые частицы, кажется многим менее озадачивающей, чем идея творения мира. Снова мы наблюдаем тенденцию человеческого ума попытаться устранить время и рассматривать вселенную прежде всего как пространственную. Действительно, утверждают, что будет логически, или семантически, противоречивым даже формулировать идею творения мира, так как идея творения чего-нибудь имеет смысл только относительно чего-то другого, а в случае вселенной не имеется ничего другого. Тем не менее, хотя идея непрерывного творения новых частиц в вечной вселенной не связана с трудностями такого рода, остаются другие трудности. Несотворенную частицу нельзя охарактеризовать каким-либо образом: она ничто. *Творение* частицы представляет нечто совершенно отличное от превращений частиц, о которых говорят при изучении особых следов в камере Вильсона или в фотографической эмульсии, ибо оно является превращением не одного вида вещи в другой, но ничто в нечто. Можно ли считать такой акт творения физическим событием?

Ни в один момент времени частица не может и существовать, и не существовать. В каждый момент она должна или существовать, или еще не существовать. Строго говоря, не может быть некоторого периода творения, но только разделение времени на периоды, в которые частица не существует, и периоды, в которые она существует. Нет никакой точки соприкосновения или

¹ E. N. Hutten, «Brit. J. Phil. Sei.», 6, 1955, 58.

моста — только полный разрыв. Акт творения частицы не является физическим событием и так же мистичен, как сказочный взмах магической волшебной палочки; ибо мы можем сказать о нем не больше, чем о сотворении всей вселенной. Поэтому вечная вселенная, в которой частицы непрерывно творятся из ничего, не менее свободна от концептуальных трудностей, чем вселенная, в которой все частицы были бы сотворены одновременно.

Когда мы рассматриваем вселенную как целое, мы стараемся полагать, или что ее прошлое вечно, или же что она была сотворена в определенную эпоху. Однако, как ранее указывалось, имеется третий путь. Ибо при широко — хотя не повсеместно — принятой интерпретации наблюдаемых данных мы можем утверждать, что нашу настоящую концепцию физического мира как расширяющейся вселенной нельзя экстраполировать назад, в бесконечно удаленное прошлое. С этой точки зрения происхождение времени можно рассматривать просто как изначальный предел¹, наложенный на применение законов природы к объектам, составляющим действительную вселенную. Эта интерпретация избегает трудностей, связанных с теориями творения, но она определенно приводит нас к точке зрения, что в больших масштабах время не может быть «устранено».

6. ВРЕМЯ И ВСЕЛЕННАЯ

Несмотря на многие попытки отделить понятие времени от понятия вселенной, с давних пор предполагалось, что эти два понятия находятся в особо тесной связи друг с другом, независимо от того, имеется или нет единственное естественное начало течения времени. Как заметил Ч. Д. Броуд, «обычно считается, что если рассмотрение осуществляется в терминах моментов и мгновенных событий, то и события в истории мира получают

¹ Например, мы можем вообразить первое мгновение времени, происшедшее в идеально однородной и (первоначально) статической вселенной, образуемой идентичными частицами в состоянии равновесия, когда одна из них самопроизвольно распадается. Такое первое мгновение не обязательно должно быть моментом сотворения мира. Оно было бы началом времени в том смысле, что представляло бы первое событие, которое произошло во вселенной.

свое место в единственном ряду моментов»¹. Другими словами, обычно предполагается, что время, во-первых, по существу, одномерно и что, во-вторых, имеется единый временной ряд, ассоциируемый с миром как целым.

Первое предположение возникает из психологического осознания человеком определенного последовательно во времени ряда событий в его собственном непосредственном опыте сознания. Второе является экстраполяцией этого опыта на мир в целом.

Тесная связь вселенной и времени обсуждалась Платоном в «Тимее». В космологии Платона вселенная была образована божественным творцом, демиургом, придавшим форму и порядок первобытной материи и пространству, которые первоначально находились в состоянии хаоса. Демиург был в действительности принципом разума, который ввел порядок в хаос, придал хаосу закономерность. Образцом закона служили идеальные геометрические формы. Они были вечными и находились в совершенном состоянии абсолютного покоя. «Но так как сообщить это свойство вполне существу рожденному было невозможно, то он придумал сотворить некоторый подвижный образ вечности и вот, устроив заодно небо, создает пребывающий в одном вечном вечный, восходящий в числе образ (вращающийся по законам числа) — то, что называли мы временем»². Согласно этой точке зрения, время и вселенная нераздельны. Время в отличие от пространства не рассматривалось как предсуществующий каркас, к которому пригнана вселенная, но само производилось вселенной, являясь существенной чертой ее рациональной структуры. В отличие от своей идеальной основополагающей модели («вечность») вселенная изменяется. Время, однако, является тем аспектом изменения, который перекидывает мост через пропасть между вселенной и ее моделью, ибо, подчиняясь *правильной* числовой последовательности, оно представляет собой «подвижный образ вечности». Этот подвижный образ сам проявляется в движениях небесных тел. Время возникает одновременно с созданием небес, и если бы небеса когда-либо разрушились, то время тоже исчезло бы.

¹ C. D. Broad, Time в: «Encyclopaedia of Religion and Ethics» (ed. Hastings), Edinburgh, 1921, Vol. 12, p. 334.

² Платон, Тимей, 37Д; Соч., ч. VI, М., 1873, стр. 402—403.

Таким образом, дальнейшая аналогия движущегося образа и вечности приводит к выводу, что сотворенные небеса были, есть и будут всегда. Как замечено Ч. Д. Броудом, эта точка зрения напоминает точку зрения Спинозы, который считал, что вещи, как они в действительности предстают перед «разумом», безвременны, но эта безвременность не может быть уловлена «воображением», которое неправильно представляет ее в виде длительности бесконечного времени¹.

В то время как платоновский анализ времени основывался на гипотезе, что время и вселенная нераздельны, Аристотель не начинает свой анализ с той широкой точки зрения на мир, которую мы находим в «Тимее». Аристотель не только считал неудовлетворительным платоновское отождествление времени с равномерным вращением вселенной, но и утверждал, что время вообще не должно отождествляться с движением, ибо движение (которое для него означало не только перемещение, но и физическое изменение любого вида) может быть «быстрее» или «медленнее» или действительно равномерно или неравномерно, и эти термины сами определяются с помощью времени, тогда как время не может быть определено само по себе. Тем не менее, хотя время не тождественно с движением, оно казалось Аристотелю зависящим от движения: оно связано с движением, ибо «мы и время распознаем, когда разграничиваем движение, определяя предыдущее и последующее, и тогда говорим, что протекло время, когда получим чувственное восприятие предыдущего и последующего в движении»². В чем тогда заключается точное отношение между временем и движением? Аристотель думал, что время является видом числа — счетным (numerable) аспектом движения. В оправдание этой точки зрения он утверждал, что «большее и меньшее мы оцениваем числом, движения же большее и меньшее — временем»³. Таким образом, с его точки зрения, время является процессом счета, основанным на нашем представлении о «прежде» и «после» в движении. «Время есть число движения по

отношению к предыдущему и последующему». Другими словами, оно является тем аспектом движения, который делает возможным перечисление последовательных состояний.

Хотя Аристотель в различии между временем и движением был более осторожен, чем его предшественники, он утверждал, что отношение между временем и движением взаимно. «Мы не только измеряем движение временем, но и время движением вследствие их взаимного определения, ибо время определяет движение, будучи его числом, а движение — время». Очевидно, трудность, связанная с этой точкой зрения, заключается в том, что движение можно прервать или вызвать, а время — нельзя. Аристотель пытался преодолеть эту трудность с помощью доказательства, что время является также мерой покоя, так как покой есть отсутствие движения.

Замечательным примером движения, которое продолжается непрерывно, является движение небес, и, несмотря на то, что Аристотель не основывал явно свое суждение на космологических доводах, он испытывал глубокое влияние космологического взгляда на время. В частности, он, по-видимому, руководствовался определением, сформулированным пифагорейцем Архитом из Тарента, который говорил, что время есть число некоторого движения и что имеется интервал времени, соответствующий природе вселенной.

Пифагорейцы верили в вечную повторяемость, и интервал времени, о котором говорил Архит, был, вероятно, «великим годом». Следовательно, хотя Аристотель вначале определенно отверг какую-либо тесную связь между временем и конкретным видом движения в пользу связи между временем и движением вообще, он в конце концов тоже пришел к выводу, что имеется особо тесная корреляция между временем и круговым движением небес, которое было для него идеальным примером равномерного движения. Прямолинейное движение не могло быть «непрерывным», то есть непрерывно однородным, если только оно не было движением по бесконечной прямой линии, но Аристотель не верил в возможность существования такой линии. Первичной формой движения было поэтому движение по кругу, ибо только оно могло продолжаться однородно и вечно, и время

¹ См. С. D. Broad, op. cit., p. 343.

² Аристотель, Физика, кн. IV, 219a, стр. 78.

³ Греки не знали современного понятия скорости. Для них скорость движения означала время, затрачиваемое для прохождения данного расстояния.

должно быть в первую очередь мерой именно такого движения. Поэтому для Аристотеля время было кругом¹, по крайней мере поскольку оно измерялось «круговым движением», под которым он подразумевал круговое движение небес. Таким образом, аристотелевская концепция времени была в конечном счете не менее космологична, чем платоновская. Время, с его точки зрения, не было счетным аспектом какого-либо конкретного вида движения, ибо «одно и то же время имеется повсюду одновременно».

Эта идея всемирного времени предполагалась Кантом в его знаменитом обсуждении времени при формулировке первой из четырех кантовских антиномий чистого разума. Фактически Кант пришел к центральной проблеме своей «критики чистого разума» при рассмотрении вопроса о том, могла ли вселенная иметь начало во времени или нет. Он полагал, что имеются неоспоримые аргументы против *обеих* альтернатив, и поэтому он заключил, что наша идея времени неприменима к

самой вселенной, но является просто частью нашего психического аппарата для отображения и наглядного представления мира. Она существенна для нашего переживания (experience) вещей в мире, но мы делаем ошибку, если применяем ее к чему-нибудь, что трансцендентно всему возможному опыту, в частности ко вселенной в целом.

Я буду оспаривать заключение Канта, так как не думаю, что его антиномия исчерпывает все возможности для связи идей времени и вселенной. С моей точки зрения, значительно более сильным аргументом является его доказательство, что мир не может существовать бесконечное время. Ибо, если мы предположим, что мир не имеет начала во времени, тогда до каждого данного момента мир прошел через бесконечный ряд последовательных состояний вещей¹. Кант доказывает, что беско-

тие есть только выражение бесконечного протяжения во времени никогда не прекращающейся последовательности событий». Аналогично этому древние атомисты, особенно эпикурейцы, которые считали, что миры, состоящие из неразрушимых элементарных частиц, непрерывно разрушаются и воссоздаются, по-видимому, тоже рассматривали время во многих отношениях сходным образом (см. Лукреций, О природе вещей, кн. II, 1105—1174; кн. V, 91—508). Появление христианства с его центральной доктриной о распятии как *уникальном событии* во времени было кардинальным фактором, заставившим людей думать о времени больше как о линейной прогрессии, чем как о циклическом повторении. Первой философской теорией времени, вызванной христианским откровением, была теория св. Августина, который отверг традиционную концепцию циклической вселенной и вместо этого утверждал, что время является мерой человеческого сознания необратимости и неповторимости «прямолинейного» движения истории (Августин, Исповедь, кн. XI).

Как указал Ч. Д. Броудт в своем президентском послании Аристотелевскому обществу в 1954 году, Кант не отделял вопрос о том, было или нет *первое событие* в истории мира, от вопроса о том, является ли полная *длительность* прошлого времени конечной или бесконечной. Строго говоря, кантовский анализ гипотезы, согласно которой мир не имеет начала во времени, формулируется как аргумент против идеи, что прошедший ряд последовательных состояний вещей на языке современной математики есть открытое множество без первого члена. От выбора единицы времени зависит, бесконечна или конечна мера, приписываемая ему. Кантовская идея следующих друг за другом «состояний вещей» неточна, но мы можем заменить ее рассмотрением следующих друг за другом осцилляций *естественного* фундаментального процесса, например атомных колебаний. Вопрос Канта надо отличать от обсуждаемого в гл. III чисто *математического* анализа времени как бесконечности мгновенных событий.

¹ На протяжении всей истории греческой мысли (а также в других древних космологиях, например у индусов, майя и т. д.) время рассматривалось как существенно периодическое потому, что вселенная мыслилась циклической. Ф. М. Корнфорд (F. M. Cornford, *Plato's Cosmology*, London, 1937, p. 104) указывает на то, что происхождение кругового образа времени «заимствовано из периодически повторяющегося (revolving) года — annus, annulus, круг». Он привлекает также внимание к замечанию Прокла («Procli Diocli in Platonis Timaeum Commentaria», ed. Diehl, Lipsiae, 1906, III, 29), который вполне определенно говорил, что время не подобно прямой линии, безгранично продолжающейся в обоих направлениях, оно ограничено и описывает окружность. Такому взгляду как будто можно противопоставить утверждение Локка: «продолжительность же подобна длине прямой линии, простирающейся в бесконечность» (Д. Локк, Опыт о человеческом разуме, кн. II, гл. 15, §11; Избранные философские произведения, т. I, Соцэкгиз, М., 1960, стр. 217). Однако Прокл (II, 289) упоминает о «великом годе», который повторяется неоднократно. «Именно благодаря этому время безгранично». Ибо «движение времени соединяет конец с началом и это происходит бесконечное число раз» (III, 30). Следовательно, идея циклической вселенной подразумевает не представление о строго циклическом времени, которое обсуждается на стр. 56, но лишь представление о периодическом повторении различных состояний вселенной. Так, например, согласно С. Самбурскому (S. Sambursky, *Physics of the Stoics*, London, 1959, p. 107), стоики, которые рассматривали вселенную как динамический континуум, понимали под космическим циклом то, что «космос, хотя он подвержен непрерывному метаболизму, никогда не умирает и что его бессмер-

нечность ряда заключается в том, что он никогда не может быть исчерпан последовательным синтезом, а отсюда следует, что бесконечный мировой ряд не может быть пройден и что поэтому начало мира является необходимым условием существования мира. Примечательно, что этот аргумент неправильно понимается многими проциательными умами. Неправильное понимание обусловлено верой, что от кантовских антиномий можно автоматически отделаться с помощью применения современной теории бесконечных рядов. Но аргумент Канта не уничтожается этой теорией, которая не имеет дела с понятием времени. Фактически все ссылки на время как таковое устранены из современной теории множеств и рядов. Аргумент Канта, с другой стороны, в сущности касается следующих друг за другом актов, происходящих *во времени*. Этот аргумент ничего не говорит о возможности бесконечного ряда в будущем, он утверждает невозможность бесконечного ряда актов, уже происшедших. Протекающая (elapsed) бесконечность актов является самопротиворечивым понятием¹. Это заключение, по моему мнению, должно быть принято.

Теперь вернемся к контраргументу Канта, согласно которому мир не может иметь начала. Анализ Канта представляет обоснованное доказательство того, что мир не может иметь начала *во времени*. Ибо, доказывает он, если бы имелось начало, ему должно было бы предшествовать пустое время. Однако в полностью пустом времени невозможно никакое возникновение (coming-to-be), так как никакую часть такого времени нельзя отличить от любой другой части и «ни одна часть такого времени не обладает по сравнению с какой-либо другой его частью особым признаком скорее существования, чем несуществования; и это справедливо независимо от того, предполагается ли, что вещь возникает сама по себе или по некоторой другой причине. Другими словами, момент

¹ Дальнейшее обсуждение этого вопроса, сравнение и противопоставление нашей точки зрения зеноновским парадоксам «Дихотомия» и «Ахилл и черепаха» см. на стр. 185—197. Согласно хорошо известному аргументу Бертрانا Рассела, Кант не заметил того факта, что ряд может не иметь первого члена, как, например, в случае ряда отрицательных целых чисел (integers), оканчивающихся на -1 , но этот аргумент бьет мимо. Напротив, единственным путем, которым мы можем действительно воспроизвести такой ряд во времени, является отсчет назад, то есть *начиная с* -1 .

перед началом мира должен иметь несовместимые свойства: он должен быть подобен всем другим моментам пустого времени и в то же время не походит на них в силу своего непосредственного примыкания к моменту происхождения мира».

Хотя второй аргумент Канта является действенным доводом в пользу отказа от идеи, что вселенная была сотворена *во времени*, *мы не обязаны принимать его заключение, согласно которому оба аргумента предполагают, что время не имеет отношения к вселенной*. Вместо этого мы готовы принять ответ, ранее данный Платоном, а также св. Августином¹, что мир и время сосуществуют. Однако, как ни странно это может показаться, понятие первого момента времени не является самопротиворечивым понятием, ибо этот момент может быть определен как первое событие, которое произошло, например спонтанный распад элементарной частицы в статической вселенной. Перед этим событием — не было никакого времени.

Аргумент Канта против возможности осуществления первого события в сущности связан с идеей — которую он старался опровергнуть, — что время есть нечто, существующее само по себе. Хорошо известно, что в своем анализе Кант отталкивался от размышлений о натурфилософии Ньютона, который верил не только в существование универсального времени (включая всемирную одновременность), но придал этому понятию статус величины, существующей сама по себе независимо от действительных физических событий.

7. АБСОЛЮТНОЕ ВРЕМЯ

«Абсолютное, истинное, математическое время, — писал Ньютон, — само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает

¹ В знаменитом отрывке (Августин, О граде божьем, кн. XI, гл. 6) св. Августин задал вопрос: «Видя, следовательно, что бог, вечность которого неизменна, сотворил мир и время, как можно говорить, что он сотворил мир во времени, если только вы не хотите сказать, что имелось нечто сотворенное перед миром, служащее предпосылкой времени?» И он отвечал: «Истинно, мир был сотворен со временем, а не во времени, ибо то, что сотворено во времени, существует до некоторого времени и после некоторого времени».

равномерно и иначе называется длительностью»¹. Это знаменитое определение, которое появляется в начале «Principia», по справедливости было одним из самых критикуемых утверждений Ньютона. Оно освящает время и представляет его в виде потока. Если бы время было чем-то текучим, то оно само состояло бы из ряда событий во времени, и это было бы бессмысленным. Более того, трудно также принять утверждение, будто время течет «равномерно» или однородно, ибо это, по-видимому, означало бы, что имеется нечто, которое контролирует скорость потока времени таким образом, что она всегда одна и та же. Но если время можно рассматривать в изоляции «безотносительно к чему-либо внешнему», какой смысл можно придать высказыванию, что скорость его течения непостоянна? Если никакого смысла нельзя придать даже возможности неравномерного течения, то какое значение можно придать особому условию, что течение «равномерно»?

Ньютон не был философом в современном профессиональном смысле слова, и поэтому, возможно, не удивительно, что он не давал никакого критического анализа своих определений, но обычно удовлетворялся их практическим использованием. Удивительно, однако, что его определение абсолютного времени не имело никакого практического употребления! На практике мы можем только наблюдать события и использовать процессы, основывающиеся на них, для измерения времени. Ньютонская теория времени предполагает, однако, что существует единый ряд моментов и что события отличны от моментов, но могут происходить в некоторые из этих моментов.

Таким образом, временные отношения между событиями зависят от отношения событий к моментам времени, в которые они происходят, и отношение «до и после» осуществляется между различными моментами времени².

¹ И с. Ньютон, Математические начала натуральной философии, в: А. Н. Крылов, Соч., т. VII, М.—Л., 1936, стр. 30.

² К сожалению, после появления теории относительности стало распространенным рассматривать как синонимы прилагательные «универсальный» и «абсолютный» в применении к времени. Строго говоря, первое означает «всемирный» (world-wide), тогда

Почему Ньютон ввел это противоречивое метафизическое понятие? Две причины могли способствовать этому: одна физическая, другая математическая. С точки зрения физики Ньютон должен был рассматривать это понятие существенно соотносящимся с понятиями абсолютного пространства и абсолютного движения. Хорошо известно, что он имел определенные эмпирические данные, которые интерпретировал как убедительный аргумент в пользу своей веры в абсолютное движение. Эти данные были динамическими. «Истинное абсолютное движение не может ни произойти, ни измениться, иначе как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда * как относительное движение тела может быть и произведено, и изменено без приложения сил к этому телу»¹. Теми фактическими эффектами, благодаря которым, считал Ньютон, абсолютное движение можно отличить от относительного, были центробежные силы, связанные с движением по кругу. «...Ибо в чисто относительном вращательном движении эти силы равны нулю, в истинном же и абсолютном они больше или меньше, сообразно количеству движения. Если на длинной нити подвесить сосуд и, вращая его, закрутить нить, пока она не станет совсем жесткой, затем наполнить сосуд водой и, удержав сперва вместе с водою в покое, пустить, то под действием появляющейся силы сосуд начнет вращаться и это вращение будет поддерживаться достаточно долго раскручиванием нити. Сперва поверхность воды будет оставаться плоской, как было до движения сосуда, затем сосуд, постепенно действующею на воду, заставит и ее участвовать в своем вращении. По мере возрастания вращение вода будет постепенно отступать от середины сосуда и вышаряться по краям его, принимая впалую форму поверхности (я сам это пробовал делать); при усиливающемся движении она все более и более будет подниматься к краям, пока не станет обращаться в одинаковое

как последнее должно употребляться только для ньютоновского понятия, согласно которому время независимо от событий. Согласно Ньютону, время *и* универсально, *и* абсолютно. С другой стороны, современное понятие «космического времени» (см. гл. V) универсально, но не абсолютно.

¹ И с. Ньютон, цит. соч., стр. 34.

время с сосудом и придет по отношению к сосуду в относительный покой»¹.

Этот эксперимент показывает, что, после того как ведро начинает вращаться, сперва имеется относительное движение между водой и ведром, которое постепенно уменьшается по мере включения воды в движение ведра. Ньютон указал, что когда *относительное* движение было наибольшим, оно не вызвало никакого эффекта на поверхности воды, но, по мере того как оно уменьшалось до нуля и увеличивалось вращательное движение воды, поверхность становилась все более и более вогнутой. Ньютон истолковал это как доказательство того, что вращательное движение абсолютно. Следовательно, не обязательно обращаться к какому-либо другому телу, чтобы придать определенный физический смысл высказыванию, что данное тело вращается, и отсюда он доказывал, что время, как и пространство, должно быть абсолютным.

С точки зрения математики Ньютон, по-видимому, находил поддержку своей вере в абсолютное время в неизбежной потребности иметь идеальное мерило скорости (rate-measurer). Он указывал, что, хотя земные сутки обычно считаются равными, они в действительности неравны. Возможно, писал Ньютон, что не имеется такой вещи, как равномерное движение, посредством которого время может быть точно измерено. Все движения могут ускоряться и замедляться, но протекание абсолютного времени, считал он, не подвержено никакому изменению. Длительность, или косность, существования вещей, говорил Ньютон, остается той же самой независимо от того, быстры или медленны движения или их совсем нет, и поэтому эту длительность надо отличать от тех длительностей, которые являются только ощущаемыми (sensible) мерами этих движений. Ньютон считал, что моменты абсолютного времени образуют непрерывную последовательность наподобие последовательности действительных чисел и полагал, что постоянная скорость, с которой эти моменты следуют друг за другом, независима от всех конкретных событий и процессов.

Ис. Ньютон, цит. соч., стр. 34—35.

Аргумент, который был использован Берtrandом Расселом в пользу теории абсолютного времени, зависит от отношения времени к положению¹. Если дано время, то положение материальной частицы² определяется однозначно, но если дано положение, то может иметься много, фактически бесконечно много, соответствующих моментов. Таким образом, отношение времени к положению не является взаимно-однозначным, но может быть многозначным. Исходя из этого рассуждения, Рассел утверждал, что временная последовательность должна представлять независимую переменную, существующую сама по себе, и что корреляция событий делается возможной только благодаря их предварительной корреляции с моментами абсолютного времени.

Несмотря на авторитет Ньютона и первоначальную поддержку его точки зрения Расселом (от которой он позднее отказался), теория абсолютного времени не удовлетворила философов. В настоящее время обычно считается необязательной гипотеза, согласно которой моменты абсолютного времени могут существовать сами по себе. События одновременны не потому, что они происходят в тот же самый момент времени, но просто потому, что они совместно происходят. Как метко подметил Ганн, «они скоррелировались благодаря тому, что они существуют, и они не нуждаются в существовании «момента абсолютного времени», чтобы скоррелироваться. Скорее благодаря тому, что они происходят, мы говорим о моменте, и этот момент не является единицей времени, существующей сама по себе, но представляет просто класс самих сосуществующих событий. Мы выводим время из событий, но не наоборот»². Для корреляции во времени событий, которые не сосуществуют, существенно постулировать, что имеется линейная последовательность состояний вселенной, каждое из которых является классом событий, одновременных с данным событием, и что эти состояния подчиняются простому отношению «до и после».

¹ B. Russell, The Principles of Mathematics, 2nd edn., London, 1937, p. 265.

² J. Alexander Gunn, The Problem of Time, London, 1929, p. 323.

8. ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Теория, что события более фундаментальны, чем моменты, которые не существуют сами по себе, но представляют классы событий, определяемых понятием одновременности, обычно известна как теория соотносительного (или относительного) времени. Она была сформулирована Лейбницем, который противопоставил ее ньютоновской теории абсолютного времени. Теория Лейбница базировалась на его принципах достаточного основания, тождества неразличимых (*indiscernibles*) и предустановленной гармонии.

Согласно первому из этих принципов, ничто не происходит без того, чтобы не иметь основания, почему оно должно быть таким, а не другим. «Истины разума, — писал Лейбниц, — необходимы, и противоположное им невозможно; истины факта — случайны, и противоположное им возможно... Но достаточное основание должно быть также и в истинах случайных, или истинах факта»¹. Конкретная форма этого скорее плохо определенного основного принципа заключается в том, что одинаковые причины должны вызывать одинаковые действия. Например, как указывал сам Лейбниц во втором из своих пяти писем к стороннику Ньютона Кларку: «Архимед, когда он в своей книге о равновесии хотел перейти от математики к физике, был вынужден воспользоваться частным случаем великого принципа достаточного основания. Он допускает, что весы останутся в покое, если на их обеих чашах все одинаково и если на концах обоих плеч рычага поместить равные тяжести. Ибо в этом случае нет никакого основания для того, чтобы одна сторона весов опустилась скорее, чем другая»².

Лейбниц применил этот принцип к времени в знаменитом отрывке своего третьего письма: «Допустим, кто-нибудь спросил бы, почему бог не создал все на один год раньше; допустим дальше, он сделал бы из этого вывод о том, что бог сотворил что-то, для чего нельзя

найти основание, по которому он действовал так, а не иначе. На это можно возразить, что подобный вывод был бы справедлив, если бы время являлось чем-то вне временных вещей, ибо тогда, конечно, было бы невозможно найти основание для того, почему вещи — при предположении сохранения их последовательности — должны были бы быть поставлены скорее в такие, чем в другие мгновения. Но как раз это доказывает, что мгновения в отрыве от вещей ничто и что они имеют свое существование только в последовательном порядке самих вещей, а так как этот порядок остается неизменным, то одно из двух состояний, например то, в котором все совершалось бы на определенный промежуток времени раньше, ничем не отличалось бы от другого, когда все совершается в данный момент, и различить их было бы невозможно»³.

Согласно принципу тождества неразличимых, который Лейбниц дедуцировал из своего принципа достаточного основания, невозможно, чтобы существовали вещи, которые отличаются *sole numero*, или только потому, что их две, а в остальном были бы полностью подобны. В своем четвертом письме к Кларку Лейбниц пишет: «Полагать две вещи неразличимыми означает полагать одну и ту же вещь под двумя именами. Таким образом, гипотеза, согласно которой вселенная будто бы могла сначала иметь другое положение в пространстве и времени, чем присущее ей ныне, и все же, несмотря на это, все отношения между ее частями были бы те же, что и сейчас, является невозможной выдумкой»².

Монады Лейбница³ взаимно независимы, но для того, чтобы они образовали одну вселенную, каждая по-своему отражает весь процесс вселенной. Знаменитый принцип предустановленной гармонии требовал, чтобы состояния всех монад в каждое мгновение соответствовали друг другу. Лейбниц иллюстрировал этот принцип сравнением двух часов, которые можно сделать идеально синхронными тремя различными способами. Они могут быть, во-первых, связаны физически, как в опыте Гюйгенса, в котором два маятника, подвешенные

¹ Г. В. Лейбниц, Избранные философские сочинения, «Труды Московского Психологического общества», вып. IV; М., 1890, стр. 346—347.

² «Полемика Г. Лейбница с С. Кларком», изд. Ленинградского университета, 1960, стр. 40.

¹ «Полемика Г. Лейбница с С. Кларком», стр. 47—48.

² Там же, стр. 54.

³ Монады Лейбница представляют собой атомы, наделенные в различной степени способностью восприятия.

на бруске дерева, были пущены так, что раскачивались вразнобой, но в конце концов в результате взаимной передачи вибрации через дерево начинали раскачиваться синхронно. Во-вторых, часы можно синхронизировать с помощью непрерывного вмешательства извне. Наконец, часы могут быть построены так идеально, что они будут идти синхронно без какого-либо взаимного влияния или внешнего воздействия. Последняя возможность соответствует предустановленной гармонии.

Таким образом, в теории Лейбница ни пространство, ни время не могут существовать сами по себе, независимо от тел, исключая существование в виде идей в уме бога. Пространство является порядком сосуществования, а время — порядком последовательности явлений. Этот порядок один и тот же для всех монад, ибо, поскольку каждая из них отражает всю вселенную, они по необходимости должны быть синхронизированы друг с другом. Следовательно, поскольку речь идет о временном аспекте вселенной, лейбницеvский принцип гармонии эквивалентен постулату универсального времени. Это совершенно ясно видно в вопросе о происхождении вселенной во времени. «Подобная же, то есть невозможная, выдумка содержится в предположении, будто бог сотворил мир на несколько миллионов лет раньше. Кто впадает в выдумки такого рода, тот не может ничего противопоставить аргументам в пользу вечности мира. Так как бог ничего не делает без основания, а здесь невозможно указать основание для того, почему он не создал мир раньше, то отсюда следует, что он или вообще ничего не создал, или сотворил мир до всякого определяемого времени, то есть что мир вечен. Но если показать, что начало, каково бы оно ни было, всегда одно и то же, то вопрос, почему оно не было другим, сам по себе отпадает¹. Если бы пространство и время были чем-то абсолютным, то есть если бы они были *чем-то большим*, чем определенным *порядком* вещей, то сказанное представляло бы противоречие. Но так как это не имеет места, то все предположения полны противоречия и представляют собой невозможную выдумку»².

¹ «Полемика Г. Лейбница с С. Кларком», стр. 56.

² Там же.

Лейбниц, по-видимому, не дал какой-либо детальной критики наиболее сильных аргументов Ньютона в пользу абсолютного времени, которые основывались, как мы видели, на его убеждении, что вращательное движение абсолютно. Первая атака на это столкновение эксперимента с вращающимся ведром была совершена Беркли, вся философия которого опиралась на отказ от абсолютных идей, и в частности на отказ от абсолютного пространства и времени как объективных реальностей, существующих независимо от нашего восприятия. В своем произведении «О движении» («De Motu»), опубликованном в 1721 году, Беркли показал, что решающим пунктом в аргументации Ньютона было подразумеваемое им предположение, что эксперимент должен был бы дать тот же самый результат, если бы он был выполнен в пустом пространстве, тогда как в действительности ведро было сначала вращающимся и затем покоящимся относительно земли. Его движение только по видимости, а не на самом деле было круговым, так как оно неизбежно включало вращение Земли вокруг своей оси, обращение Земли вокруг Солнца и т. д. Беркли заключил, что явления, на которые ссылается Ньютон, просто указывают на вращение относительно других тел вселенной и что не обязательно вводить идею абсолютного вращения.

Такое же указание было сделано Махом во второй половине XIX столетия в его классической «Механике». Мах отметил, что единственной экспериментальной проверкой, которую можно представить для опровержения представления, что вращательное движение относительно (по отношению ко вселенной в целом), было бы сравнение эксперимента Ньютона, как он проводил его, с экспериментом, в котором ведро остается нетронутым, а вселенная вращается вокруг ведра. Такое испытание провести невозможно, и в результате мы не обязаны принимать ньютоновское истолкование эксперимента с ведром¹. Следовательно, довод Ньютона в пользу абсолютного времени рушится².

¹ См. Э. Мах, Механика, Историко-критический очерк ее развития, СПб., 1909, стр. 198—199.

² При утверждении, что время соотносительно, мы не обязательно подразумеваем, что оно зависит только от материальных событий. Оно может зависеть также от психических событий.

9. ЦИКЛИЧНОЕ ВРЕМЯ

Мы уже отметили, что на основе теории соотносительного времени мы можем коррелировать события, которые не сосуществуют, если мы постулируем, что имеется линейная последовательность состояний вселенной, каждое из которых является классом событий, одновременных с данным событием, и что эти состояния подчиняются простому отношению «до и после». Мы должны теперь рассмотреть следующее возражение против соотносительного определения момента как данного состояния вселенной, сформулированное Расселом¹. Он утверждал, что *логически* не является абсурдом представлять себе раздельное наличие двух с виду идентичных состояний вселенной. Но если мы определим момент как данное состояние вселенной, в таком случае мы должны столкнуться с логической нелепостью, что два момента могут быть и различными, и тождественными.

К счастью, это противоречие можно разрешить без обращения к ньютоновской концепции абсолютного времени. Ибо если состояние вселенной определяется как класс всех одновременных событий, то два состояния, которые неодновременны, не могут быть тождественны *во всех отношениях*. Но это разрешение трудности влечет за собой недвусмысленное признание фундаментальности времени: время становится существенной характеристикой события. Состояния вселенной будут тогда, строго говоря, неповторимыми.

Аргумент Рассела имеет отношение к существенному различию между идеями циклической вселенной и циклического времени. Первая ведет к понятию периодического универсального времени (ср. понятие «великого года», обсуждаемое на стр. 37), тогда как вторая идея означает, что время замкнуто подобно кругу. М. Ф. Ключф справедливо отвергла это понятие циклического времени. В связи с утверждением, что «то же самое» событие может повторяться много раз, Ключф пишет: «Это вздор. Другой вопрос, могут или не могут повториться те же самые обстоятельства (content). Это явно заключено в самом слове «повторяться» (recur)². Возможно возра-

жение, что если два состояния вселенной совершенно одинаковы в каждом данном отношении, исключая время, то было бы чистым педантизмом называть их «двумя» и считать, что они в действительности идентичны. Но, как указывает Ключф, *не* бесполезно настаивать на различии между циклами в^щей и циклами событий.

При проведении этого строгого различия может показаться, будто бы мы неявно предполагаем, что время независимо от вещей и существует само по себе, то есть является абсолютным. Однако мы соглашаемся с мисс Ключф в том, что, даже если мы рассматриваем время как соотносительное и, следовательно, присущее вселенной, не будет бессмысленным утверждать, что событие во вселенной, проходящей через данную стадию один раз, должно отличаться от соответствующего события при повторном прохождении этой же стадии¹. Фактически мы можем идти дальше и заявить, что если бы время было кругом, то не было бы разницы между вселенной, проходящей через отдельный цикл событий, и вселенной, проходящей через ряд идентичных циклов. Ибо любое различие необходимо означало бы, что время не является циклическим, то есть имело бы основное нециклическое время, в котором разные циклы могли бы соотноситься и различаться друг от друга. Более того, тот же самый аргумент можно применить также к начальному и конечному событиям отдельного цикла. Ибо если бы они были

¹ Если тело, движущееся во вселенной, имеет, согласно теории относительности Эйнштейна, собственное время, которое отлично от универсального времени мира как целого, то мы можем представить себе возможность того, что при определенных обстоятельствах такое тело описывает замкнутый путь во времени. В этом случае должно повториться то же самое *событие*. Эта возможность обсуждается в гл. V (стр. 332—333) и отвергается вследствие того, что наблюдатель, путешествующий на таком теле, в принципе может оказывать влияние на свое собственное прошлое. (Между прочим, весь смысл притчи о человеке, у которого исполнилось его желание второй раз прожить прошедший час своей жизни, — включавший и выражение и автоматическое исполнение самого желания, — сводится к бесконечному *повторению*, и это предполагает, что время идет безжалостно, то есть имеется разница между переживанием событий один раз и неоднократными повторными переживаниями их. Короче говоря, один и тот же час *нельзя* пережить вторично, поскольку действия, которые заполняют его, оказывают влияние на все последующие часы.)

¹ B. Russell, «Mind», 10, 1901, 296.

² M. F. Cleugh, «Time», London, 1937, p. 225.

идентичными, не было бы смысла рассматривать их как происходящие раздельно. Другими словами, если нет никакого основного ациклического времени, мы не можем отличать «круговой ряд» состояний вселенной от «прямолинейного».

10. ШКАЛА ВРЕМЕНИ

При формулировке своего много раз подвергавшегося критике определения абсолютного времени Ньютон не только установил, что «во времени все располагается в смысле порядка последовательности», но также указывал, что другое имя для этого порядка — «длительность». «Относительное, кажущееся, или обыденное, время, есть, — подчеркивал он, — совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности», хотя он считал вполне возможным, что «не существует (в природе) такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться с совершенною точностью»¹. Таким образом, мы видим, что Ньютон явно указывал на оба характерных свойства физического времени: его порядок и его скорость. По мнению Ньютона, они различаются: временной порядок событий (последовательность прежде и после) не определял сам по себе ни длительности времени между двумя событиями, ни скорости, с которой события следовали друг за другом. Вместо этого и то и другое определялось соответственными моментами абсолютного времени, с которыми были связаны события, и скоростью «течения» этого времени.

С другой стороны, определяя время как порядок следования явлений, Лейбниц, по-видимому, не заметил ни аспекта его длительности, ни связанную с этим проблему непрерывности. Следующие друг за другом изображения на киноленте могут проинформировать нас о временном порядке событий, скажем при росте растения, но они ничего не говорят нам о скорости, с которой развивается растение. Определение Лейбница относится, однако, к последовательным состояниям всей вселенной. С практической точки зрения разницу между определе-

нием Лейбница и определением Ньютона можно резюмировать в утверждении, что, согласно Ньютону, вселенная имеет часы, тогда как, согласно Лейбницу, вселенная есть часы. Таким образом, по мнению Лейбница, понятие скорости роста растения имело бы значение только относительно всей вселенной, которая сама «отражается» в каждой монаде.

До сих пор, обсуждая универсальное время, мы концентрировали внимание главным образом на вопросе о его природе — или абсолютной, или относительной — и на вопросе, имеет ли оно естественный нуль или начало. Однако, рассматривая проблему длительности, мы теперь сталкиваемся с новыми проблемами, которые связаны с определением удовлетворительной единицы измерения и конструированием значимой (significant) шкалы времени. Определение Ньютона помогает нам не больше, чем определение Лейбница. Более того, оба эти великих мыслителя, по-видимому, больше обходили, чем учитывали (не говоря уже о разрешении), фундаментальную антиномию: в то время как понятие пространственного измерения не противоречит каким-либо образом понятию пространственного порядка, несмотря на резкое различие, существующее в математике между метрическим и топологическим, понятие последовательности сталкивается с понятием длительности.

Это столкновение понятий привело к формулировке парадоксов относительно времени и его измерения, которые озадачивают многих современных философов точно так же, как и великих мыслителей древности. Скоротечность времени много лет назад поставила вопрос о реальности времени. Например, в своей книге «Против физиков» Секст Эмпирик утверждал, что прошлое уже не существует, а будущее еще не существует, и поэтому в лучшем случае только настоящее может существовать. Однако настоящее должно быть или неделимым, или делимым. Если оно неделимо, оно не будет иметь ни начала, посредством которого оно соединяется с прошлым, ни конца, при помощи которого оно соединяется с будущим; ибо то, что имеет начало и конец, не является неделимым. Более того, так как у него нет ни начала, ни конца, оно не будет иметь середины, и он утверждал, что, не имея ни начала, ни середины, ни конца, время вообще не будет существовать. С другой стороны, если

настоящее время делимо, оно делится или на существующее, или на несуществующее время. То время, которое разделено на несуществующие времена, само не будет существовать, но если время разделено на существующие времена, оно как целое уже не будет настоящим.

Этот аргумент, аналогичный другим, обсуждаемым в гл. III, обусловлен трудностями, связанными с разделением времени на части. На практике измерение времени имеет тенденцию зависеть, насколько это возможно, от пространственных понятий. Древность этого приема является в этимологии. Например, в греческом и латинском мы находим, что слова *ts'evog*, *tempus* и *templum* все обозначают сечение (*bisection*) или пересечение (*intersection*), ибо у плотников две пересекающиеся балки образывали *templum*. Разделение пространства на четверти (запад, восток и т. д.) воспроизводилось в разделении дня на ночь, утро и т. д. Таким образом, несмотря на ведущую роль, которую явления времени играли в развитии идеи универсального космического порядка, понятие пространственного деления стало основой измерения. Следовательно, универсальная естественная шкала времени, на которой движения небесных тел имели бы наибольшую наглядность, в конце концов стала представляться *геометрически* как одномерная траектория. Подразумевалось, что эта геометрическая линия каким-то уникальным образом проградуирована, а по мнению Ньютона, она была независимой от явлений.

Однако, если мы примем чисто относительную меру времени в терминах специфического ряда частных событий, мы получим шкалу, которая может быть достаточно точна для временного упорядочения всех явлений, но не для метрического сравнения различных интервалов времени. Фактически можно вообразить бесконечное разнообразие часов этого типа. При наличии трех следующих друг за другом событий *A*, *B* и *C* интервалы времени между *A* и *B* и между *B* и *C* соответственно можно оценить равными по длительности согласно одним таким часам и неравными — согласно другим. Действительно, если одни часы математически представить

¹См. *Sextus Empiricus*, vol. III, London, 1936, p. 311.

в виде переменной *t* и другие в виде переменной *t*, соотношение между ними может иметь вид

$$* = f(t),$$

где *f(t)* обозначает *любую* монотонно возрастающую функцию от *t*. Чтобы получить единую меру длительности, нужен некоторый универсальный критерий, который даст нам возможность избавиться от произвольной функции *f* и заменить ее функцией с таким свойством, что равным интервалом *t* соответствуют равные интервалы *f(t)*. Такая функция по необходимости линейна, то есть имеет вид

где *a* и *b* константы, и представляет собою эффективную единую меру длительности, так как константа *b* не влияет на достижение цели, а константа *a* зависит только от интервала, который мы выбираем как *числовую* единицу, например секунду или год. Более того, переводной коэффициент от одной такой числовой единицы к другой не изменяется с течением времени.

Ни ньютоновское, ни лейбницевское определение времени не подходят для получения универсального критерия этого типа. В конце концов, также неудовлетворительно основывать наше определение времени на наблюдаемых движениях небесных тел. Благодаря современному усовершенствованию астрономической техники мы знаем, что движение Луны не является строго равномерным и испытывает малые угловые ускорения, так что незначительные нерегулярности можно обнаружить в суточном вращении Земли и т. д. Большей точности в измерении времени можно достичь с помощью атомных и молекулярных часов. Здесь подразумевается, что все атомы данного элемента ведут себя совершенно одинаково независимо от места и времени. Поэтому окончательная шкала времени теоретически сопутствует нашему понятию универсальных законов природы. Это было обнаружено еще в прошлом веке, задолго до современных сверхточных определений времени, в частности, Томсоном и Тэтом в их известном трактате «Естественная философия». Обсуждая закон инерции, они указали, что его можно сформулировать в следующем виде: отрезки времени, в течение которых любое

данное тело, не подверженное действию сил, изменяющих скорость его движения, проходит равные отрезки пространства, равны; и в таком виде, говорили они, закон выражает наше соглашение для измерения времени*.

Более того, Пуанкаре утверждал, что при вычислениях, например, углового ускорения Луны астрономы основываются на фундаментальных законах ньютоновской физики и, следовательно, полагают, что время надо определять таким образом, чтобы эти законы можно было сохранить². Пуанкаре был озадачен тем фактом, что мы не обладаем непосредственной интуицией равенства двух интервалов времени, так что, хотя мы можем знать, что одно событие предшествует другому, мы не можем с таким же точным смыслом сказать, насколько оно предшествует, если только мы не привлечем некоторое определение длительности, которое обладает определенной степенью произвольности. Поэтому он утверждал, что, так как различные способы определения времени приводят к различным «языкам» для описания одних и тех же экспериментальных фактов, время надо определять так, чтобы фундаментальные законы физики, особенно уравнения механики, «были сколь возможно просты». Он сделал вывод, что «нет способа измерения времени, который был бы правильнее другого; способ вообще принятый является только более удобным». Мы не имеем права сказать о двух часах, что одни идут хорошо, а другие плохо; мы можем сказать только, что есть выгода пользоваться на показаниях первых³.

¹ W. Thomson, P. Q. Tait, Natural Philosophy, Cambridge, 1890, Part 1, p. 241.

² Точка зрения астрономов очень ясно была выражена Дж. Клеменсом (G. Clemence, Time and Its Measurement, «The American Scientist», 40, 1952, 267): «инвариантная мера времени» представляет такую меру, которая не ведет к противоречию между наблюдениями небесных тел и точными теориями их движения. Клеменс явно формулирует, что эта мера времени на деле определяется применяемыми законами движения. Он указывает также, что любой угол, который является известной непрерывной функцией времени и который можно измерить независимо от расстояния, пригоден как мера времени. Не обязательно даже, чтобы он монотонно возрастал со временем, но необходимо только, чтобы имелась адекватная теория его движения. (Между прочим, маятник не подходит для этой цели из-за того, что мы не имеем адекватной теории возмущений, обусловленных несовершенствами подвеса, изменениями поля тяготения и т. д., которым он может быть подвержен.)

³ А. Пуанкаре, Ценность науки, М., 1906, стр. 33.

Однако Пуанкаре, по-видимому, не заметил возможности того, что обычные «простые» формулировки различных фундаментальных физических законов могут привести к различным шкалам «однородного времени». Таким образом, мы не имеем никакой априорной гарантии, что шкала времени, подразумеваемая, например, при обычной формулировке закона радиоактивного распада урана-238, идентична шкале, подразумеваемой законом инерции, законом всемирного тяготения и т. д. Предположение, которое мы обычно делаем, что применение этих различных законов к физической вселенной связано с одной и той же универсальной шкалой времени, не является вопросом конвенции, ибо зависит от гипотезы, которой мы будем придерживаться в этой книге и согласно которой *имеется единый основной ритм вселенной*¹.

¹ Предположение, что некоторые «константы» природы, появляющиеся в фундаментальных физических законах, могут изменяться в течение больших промежутков времени — это предположение эквивалентно видоизменению нашей гипотезы, i — было исследовано Э. А. Милном (E. A. Milne Kinematic Relativity, Oxford, 1948, passim), П. Дираком (P. A. M. Dirac, «Proc. Roy. Soc. A», 165, 1938, 199), Э. Теллером (E. Teller, «Phys. Rev.», 73, 1948, 801), М. Джонсоном (M. Johnson, Time and Universe for the Scientific Conscience, Cambridge, 1952), П. Иорданом (P. Jordan, Schwerkraft und Weltall, Braunschweig, 1955) и совсем недавно Д. Уилкинсоном (D. U. Wilkinson, «Phil. Mag.», 3, 1958, 582), утверждающим, что постоянная Планка, заряд электрона и т. д. могут изменяться не более чем $10^{14}\%$ в год.

Предположение Милна (впервые сделанное в 1937 году) заключалось в том, что t , однородная шкала времени динамики и гравитации, была логарифмически связана с t , однородной шкалой времени расширения вселенной и радиоактивного распада (t пропорционально $\log t$). Отсюда следует, что на <-шкале универсальная константа тяготения g должна линейно возрастать со временем. А. Хоумс (A. Holmes, «Trans. Geol. Soc. Glasgow», 21, 1947, 117—152) пытался использовать эту идею для объяснения растущей активности подкорковых процессов Земли в течение последних 500 миллионов лет начиная с кембрийского периода. Он пришел к выводу, что имеющиеся данные не указывают на большое изменение значения g .

П. Индивидуальное время

1. ИДЕЯ ВРЕМЕНИ

Несмотря на свою тесную связь с универсальным мировым порядком, идея времени имеет источником своего происхождения ум человека. Это ясно понимал Аристотель. Если только душа, или интеллект, способна считать, то «может возникнуть сомнение, будет ли в отсутствие души существовать время или нет?»¹ Он думал, что без души не было бы никакого времени, но было бы только движение, атрибутом которого является время, если только возможно представить движение, существующее без души как своей движущей силы². Аристотель не стал развивать этой мысли, так как Он считал, что, когда мы исследуем природу и роль времени, мы ведем себя как существа, обладающие душой, для которой время представляет тот аспект движения, который делает движение измеримым. Более того, по его мнению, наш ум обязательно должен подчиняться мировому порядку, который поэтому управляет как нашим восприятием времени, так и процессом вычисления или измерения его. Для Аристотеля все движение в конце концов соотносится с равномерным круговым движе-

¹ Аристотель, Физика, кн. IV, 14, стр. 103.

² В отличие от Демокрита, который считал, что атомы движутся сами по себе, Аристотель, по-видимому, придерживался более анимистической точки зрения, но фактически его идеи были в высшей степени умозрительны. Его понятие «психе» (обычно переводимое как «душа», но не совпадающее с пифагорейским, христианским или картезианским понятием) означало естественную, целополагающую функцию живого тела. Отношение живого организма к его «психе» напоминало отношение флейты к игре на флейте (см. J. H. Randall, jun., Aristotle, New York, 1960, p. 61 и след.).

нием Первого неба, или сферы неподвижных звезд, осуществляющимся в присущее ему время.

В поздней античности анализ Аристотеля был подвергнут тщательной критике Платином и прежде всего св. Августином, который указал, что если мы рассматриваем движение как измеряемое в терминах времени, а время — в терминах движения, то мы опасно близко подходим к кругу в определении. «Но так ли я измеряю его, боже мой, и что в нем я измеряю, сам не знаю»¹. Согласно Августину, время и движение надо отличать друг от друга даже тщательнее, чем это делал Аристотель. В частности, время не должно соотноситься с движением небесных тел; ибо, если небеса прекратят двигаться, но гончарный круг продолжит крутиться, будет все же возможно измерять его вращение. Хотя нельзя утверждать, что каждый оборот составляет день, можно твердо надеяться, что он некоторым образом отображает прохождение времени. Аналогично, когда по требованию Иисуса Навина Солнце остановилось, время тем не менее продолжалось, ибо «даже в том случае, если тела иногда движутся то скорее, то медленнее, а иногда остаются в покое, — и тогда время служит нам для измерения продолжительности не только движения их, но и покоя... Итак, движение тел не есть время»².

Не удовлетворившись поэтом, как Аристотель, тесной связью времени с движением, св. Августин обратился к душе, а не к физическому порядку как к конечному источнику и стандарту времени³.

¹ Августин, Исповедь, кн. XI, гл. 26.

² Там же, гл. 23—24.

³ Идея, что время существует *per se* (абсолютное время), по-видимому, не рассматривалась античными мыслителями, кроме следующих исключений:

(1) Согласно Стратону Лампсакскому, ученику Аристотеля, «день, ночь и год не являются ни временем, ни частью времени, но соответственно светом и тьмою и обращением Солнца и Луны; на самом деле время представляет величину (*quantity*), в которой они существуют» (*Simplicitis*, In *Aristotelis Physicorum Libros Commentaria*, ed. H. Diels, Berlin, 1882, 790, 13—15);

(2) Как сообщает автор XII века Ибн Абу Сайд (см. S. Pines, «Proc. Amer. Acad. for Jewish Research», 24, 1955, III и след.), Гален считал, что «движение не производит для нас время; оно производит для нас только дни, месяцы и годы. С другой стороны, время существует *per se*, а не представляет собой случайное следствие движения».

«Итак в тебе, душа моя, — восклицал Августин, — измеряю я времена»¹. В своем решении проблемы он дал один из наиболее пронизательных анализов в истории предмета. Вместо обращения к движению *с его пространственными ассоциациями* он рассматривал чисто временные явления — скорее слуховые, чем зрительные, — подобно чтению стихов и звучанию голоса. «Протяжением краткого слога мы измеряем протяжение слога долгого... так же определяем меру (*spatium*) какого-нибудь стихотворения мерою стихов, меру стихов — мерою стоп, меру стоп — мерою слогов и протяжение долгих слогов — протяжением слогов коротких. Но при этом мы имеем в виду не пространство страниц, на которых все это помещается (ибо это значило бы измерять место, а не время), а прохождение чрез живой голос произносимых слов». Тем не менее мы все же не получаем фундаментальной единицы или шкалы времени, «ибо и на короткой стих можно употребить более времени, когда станем произносить его медленнее, нежели на стих длинный, когда произносим его скорее»². Однако это рассмотрение подсказало ему, что «время есть действительно какое-то протяжение. Но в чем заключается это протяжение и где оно находится, не постигаю, если только оно не есть неотъемлемое представление ума нашего»³. Затем Августин рассмотрел проблему измерения времени при помощи голоса, произносящего отдельный звук, и столкнулся с характерной головоломкой, касающейся противоречащих с первого взгляда друг другу понятий последовательности и длительности. Ясно, что мы не можем измерять занимаемое звуком время ни до произнесения звука, ни после, ибо тогда звук отсутствует. Можем ли мы тогда измерять это время в тот период, когда звук звучит? Августин указывает, что это будет невозможно, поскольку считается, что настоящее воистину моментально и не обладает длительностью. Поэтому любой промежуток времени, каким бы коротким он ни был, обязательно каким-то образом связан или с прошлым, или с будущим. Таким образом, св. Августин пришел к выводу, что мы можем измерять время

¹ Августин, цит. соч., кн. XI, гл. 27.

² Там же, гл. 26.

³ Там же.

только в том случае, если ум способен сохранять в себе отпечатки вещей в той последовательности, в какой они появлялись, даже после того, как они исчезнут. «В тебе, душа моя, измеряю я времена; и когда измеряю их, то измеряю не самые предметы, которые проходили и прошли уже безвозвратно, а те впечатления, которые они произвели на тебя: когда сами предметы прошли и не стало их, впечатления остались в тебе, и их-то я измеряю, как присущие мне образы, измеряя времена. Если же не так, если и это неверно; то или времена имеют самобытное существование, или я не времена измеряю»¹. Хотя св. Августин не смог объяснить, как ум может служить точным хронометром *внешнего* порядка физических событий, его надо считать великим пионером изучения *внутреннего* времени.

Вслед за опубликованием «Начал» Ньютона философы-эмпирики Локк, Беркли и Юм рассматривали происхождение понятия времени и признавали, что оно представляло собой последовательность идей в уме, но они также не смогли объяснить, как эта последовательность соотносится с физическим временем. Беркли жаловался, что «каждый раз, когда я пытался составить простую идею времени с отвлечением от последовательности идей в моем духе, которое протекает единообразно и сопричастно всему сущему, я терялся и путался в безысходных затруднениях». Он полагал, что «продолжительность некоторого конечного духа должна быть определяема по количеству идей или действий, которые следуют друг за другом в этом духе»². Однако Беркли не

¹ Августин, цит. соч., кн. XI, гл. 27.

² Дж. Беркли, Трактат о началах человеческого знания, пер. Е. Ф. Дебольской, СПб., 1905, стр. 132—133. Беркли обязан этой мыслью Локку, но ее можно проследить еще у Гоббса. Возражение против нее с точки зрения здравого смысла было ясно сформулировано современником и критиком Юма Томасом Рейдом (Thomas Reid, *Essays on the Intellectual Powers of Man*, Edinburgh, 1785, p. 329; в сокращенном издании А. Д. Вуцли, London, 1941, p. 210): «Я более склонен думать, что истинно совсем обратное. Когда человек страдает от боли или ожидания, он едва ли может думать о чем-нибудь другом, кроме своего страдания; и чем больше его ум занят этим исключительным предметом, тем более длинным кажется время. С другой стороны, когда он развлекается веселой музыкой, живой беседой и свежей остротой, имеет место, по-видимому, очень быстрая последовательность идей, но время кажется очень коротким».

обратил внимания на проблемы однородности и универсальности времени, и в «Первом диалоге между Гиласом и Филонусом» Филонус предполагает, что идеи могут следовать друг за другом в два раза быстрее в одном уме, чем в другом¹. Независимо от того, прав или неправ Забирский, выражающий недовольство тем, что «Беркли, по-видимому, отверг не только абсолютное время Ньютона, но также время в обычном смысле»², нет сомнения, что ни Беркли, ни Юм не смогли дать какого-либо объяснения различию, которое мы делаем между временным порядком наших идей и временным порядком внешних объектов, который мы претендуем познать с помощью идей.

Особое внимание на этот важнейший момент обратил Кант. Он полагал, что время является формой «интуиции», соответствующей нашему внутреннему чувству, так что мы только представляем себе, будто состояния нашего ума при самонаблюдении находятся во времени, но на самом деле они не лежат во времени. Хотя Кант считал, что все знание начинается с опыта, он не рассматривал понятие времени (или пространства) как выведенное из опыта. «Время не есть эмпирическое понятие, отвлекаемое от какого-либо опыта. В самом деле, существование или последовательность даже не входили бы в состав восприятия, если бы в основе не лежало а priori представление времени. Только при этом условии можно представить себе, что события существуют в одно и то же время (вместе) или в различное время (последовательно)»³. Хотя Кант был горячим последователем Ньютона, он отрицал, что время представляет какую-либо абсолютную реальность. По мнению Канта, понятие времени «заключено не в объектах, но только в субъекте, который воображает объекты». Другими словами, время (как и пространство), по существу, имеет отношение к деятельности ума, а не к вещам в себе. Но несмотря на то что время представляет только промежуточное условие явления внешних объектов (которые мы представляем также существующими в про-

¹ Дж. Беркли, Три разговора между Гиласом и Филонусом, Соцэкгиз, 1937, стр. 32.

² Z. Zawirski, L'Evolution de la Notion du Temps, Cracow, 1936, p. 71.

³ И, Кант, Критика чистого разума, Петроград, 1915, стр. 48.

странстве), оно является также *непосредственным* условием того нашего внутреннего чувства, благодаря которому мы представляем себя существующими только во времени.

2. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ИДЕИ ВРЕМЕНИ

К концу XIX столетия кантовская идея времени как необходимого условия нашего восприятия физического мира подверглась сильной критике со стороны психологов. Гюйо в своей блестящей работе «Происхождение идеи времени» («La genese de l'idee de temps»), опубликованной в 1890 году, через два года после его смерти, обратился от формальной проблемы, поставленной Кантом, к рассмотрению действительного развития понятия времени. Гюйо считал время не априорным условием, но следствием нашего восприятия мира, результатом долгой эволюции. Гюйо утверждал, что оно в сущности было продуктом человеческого воображения, воли и памяти. В противоположность английским ассоцианистам и эволюционистской школе, возглавляемой Гербертом Спенсером, которые рассматривали идею времени как источник идеи пространства, Гюйо утверждал, что даже если мы можем использовать одно для измерения другого, тем не менее время и пространство являются очень разными идеями со своими собственными характерными чертами. Более того, идея пространства первоначально развилась до идеи времени. В эпоху первобытного умственного развития из последовательности идей не возникает автоматически идея их последовательности, тогда как движения во всех направлениях ответственны за естественное возникновение идеи пространства как способа представления одновременных ощущений, приходящих от различных частей организма. Идея событий в их временном порядке возникла после идеи объектов в их пространственном порядке, так как последняя относится к восприятиям или самим *впечатлениям*, тогда как первая зависит от репродуктивного воображения, или *представления*. Последний источник идеи времени лежит в нашем восприятии сходства и различия. Оба необходимы, поскольку слишком большое несходство

следующих друг за другом образов, возникающих в сознании, почти так же неэффективно, как слишком маленькое несходство, так как каждый новый образ будет занимать всю область нашего сознания, за исключением всего того, что пришло раньше. Следовательно, определенная степень непрерывности и регулярности в однородном потоке ощущений является необходимым условием для возникновения идеи времени. Поэтому, утверждал Гюйо, время не может быть чисто априорным понятием.

«Я не думаю, что этот аргумент, несмотря на его убедительность, полностью опровергает идею Канта, в соответствии с которой время представляет собой «форму нашего внутреннего чувства, то есть интуиции нас самих и нашего внутреннего состояния», хотя мы не можем согласиться с Кантом, что время не представляет собой ничего, кроме этого. Ибо Гюйо допускал, что человеческий ум обладает способностью, по-видимому, не присущей животным, создавать идею времени из нашего опознания или осознания некоторых черт, характеризующих данные опыта. Даже если Кант не вскрыл источник этой способности, поскольку он рассматривал нашу идею времени как неизменный умственный каркас, не имеющий никакой эволюционной истории, он по крайней мере понял сложную специфичность человеческого ума.

Мы обязаны Гюйо некоторыми проницательными предположениями относительно пути, по которому развивалась эта способность ума. Гюйо отверг наивное предположение Герберта Спенсера, что идея времени была выведена из примитивного осознания временной последовательности. Напротив, Гюйо утверждал, что на примитивной ступени умственного развития не имелось никакой ясной концепции ни одновременности, ни последовательности. Гюйо полагал, что идея времени возникла тогда, когда человек стал сознавать свои реакции на удовольствия и боль и связал с этими реакциями последовательность мускульных ощущений. «Когда дитя голодно, оно плачет и протягивает руки к своей кормилице: вот зародыш идеи будущего. Всякая потребность предполагает возможность ее удовлетворения; совокупность таких возможностей мы обозначаем термином «будущее». Время закрыло бы доступ к себе существу, которое ничего не желало бы, ни к чему не стремилось

бы... Будущее есть не то, что идет к нам, но то, к чему мы идем»¹. Психологический источник понятия времени находится поэтому в сознательном понимании различия между желанием и удовлетворением. Чувство цели и связанное с ним усилие представляют последний источник идей причины и действия; но люди в конце концов выработали понятия однородной временной последовательности и определенного каузального процесса только благодаря ряду научных абстракций.

По мнению Гюйо, понятие времени всегда было, внутренне связано с понятием пространства. Будущее фактически было тем, что лежит впереди и к чему стремилось, в то время как прошлое лежит позади и более не рассматривается. «В общем, последовательность является абстракцией двигательного усилия, совершаемого в пространстве, которое, становясь осознанным, представляет намерение»². Идея цели была связана с некоторым направлением в пространстве и, таким образом, с движением. В результате, время можно считать абстракцией движения, которая сама связана с последовательностью ощущений мускульного усилия и сопротивления, проявляющейся вдоль линии от первоначальной точки пространства к другой точке, которой движение желает достичь.

Таким образом, Гюйо утверждает, что в то время как пространственные концепции произошли, по-видимому, тогда, когда человек стал полностью сознавать свои движения и размышлять о них, временные понятия надо свести к ощущениям усилия и утомления, связанным с этими движениями. Однако, как впоследствии подчеркнул Жане³, человеку пришлось приобрести способность различать между соответствующими ощущениями зачатия, продолжения и окончания действия. В последние годы стало очевидным, что умственные способности человека представляют потенциальные способности, которые он может реализовать на практике, только научившись их использовать. Ибо, в то время как животные наследуют различные особые схемы сенсорного осознания (awareness), известные под названием «освободителей»

¹ М. Гюйо, Происхождение идеи времени, СПб., 1899, стр. 35.

² М. Гюйо, цит. соч., стр. 39.

³ Pierre Janet, L'Evolution de la Memoire et de la Notion du Temps, Paris, 1928, eh. III,

(«releasers»), поскольку они действуют как автоматические зачинатели специфических типов действия, человек наследует только один «освободитель», который передается ребенку с материнской улыбкой. Поэтому человек должен научиться создавать все свои другие схемы осознания (awareness) из своего собственного опыта¹. Следовательно, наши идеи пространства и времени, которые, согласно Канту, действуют так, как если бы они были освободителями, надо в действительности считать умственными (mental) конструктами, приобретаемыми в процессе научения.

3. СОЦИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ИДЕИ ВРЕМЕНИ

Гипотеза Гюйо, гласящая, что первоначальный источник человеческой идеи времени лежал в накоплении ощущений, которое образовывало внутреннюю перспективу, направленную в будущее, подкрепляется современным мнением антропологов, что огромное развитие лобных долей мозга Homo sapiens может быть тесно связано с его растущей способностью приспособления к будущим событиям, ибо, хотя неандерталец мог обнаружить некоторый элементарный интерес к будущему, так как неандертальцы, по-видимому, хоронили умерших, возникновение современного человека было связано с резко возросшей тенденцией смотреть вперед². Принципиальное доказа-

¹ Это согласуется с общим характером поздней стадии эволюционного прогресса, ибо в то время как даже высшие беспозвоночные (насекомые) полагаются главным образом на унаследованные схемы, существует растущая тенденция, когда мы идем по эволюционной шкале до высших позвоночных, зависеть от схем, приобретенных из индивидуального опыта, то есть скорее от онтогенетического, чем от филогенетического, «научения». Действительно, непревзойденная мощь и гибкость человеческого мозга обусловлена тем фактом, что он наподобие электрической сети со всеми переключателями вначале открыт. К тому же можно наблюдать, что растущая с эволюционным прогрессом потребность объединить индивидуальный опыт в умственную (mental) структуру отражается в общей тенденции продления детства и всей продолжительности жизни.

² В целом этот взгляд подтверждается современными исследованиями. Ибо хотя Р. М. Иеркс полагает в результате своих хорошо известных экспериментов во Флориде по поведению обезьян, что

тельство заключается в быстром развитии орудий, которые в отличие от примитивных топоров (handaxes) неандертальцев были использованы для создания широкого ассортимента других орудий (зазубренных гарпунов, крючков для рыбной ловли, иголок с ушком и т. д.) для использования в будущем.

Жизненно важным шагом в развитии человеческого понимания времени было открытие того, что эту устремленную вперед перспективу можно рассматривать ретроспективно: в течение нашей жизни в нашем уме обрзается некоторый осадок того, что первоначально присутствовало в наших мыслях и чувствах. Постепенное развитие связанной памяти, так же как связанной мысли, вероятно, было тесно связано с переходом от эвкативной «речи», направленной в будущее, к дескриптивной «речи», направленной в прошлое. Это зависело от узнавания человеком долго существующих вещей, которым можно было дать имена, что должно было представлять в высшей степени трудный шаг.

Гипотеза, согласно которой доисторическое развитие идеи времени было тесно связано с развитием языка, подкрепляется тем фактом, что хотя время первоначально рассматривалось в терминах пространственного воображения, производного от зрения¹, оно в действительности гораздо более тесно связано со слухом, играющим принципиальную роль в развитии речи. Фундаментальным как для времени, так и для речи, особенно для первобытной речи, является ритм. Ритм представляет собой повторение, функция которого заключается в закреплении того, что должно быть выявлено. Более того, в нем проявляется естественная тенденция к кинестетической

«данные о заглядывавши назад значительно внушительнее данных; о заглядывании» вперед» (R. M. Yerkes, Chimpanzees, Yale, 1943, p. 150), дети улавливают идею будущего скорее, чем идею прошлого (W. Stern, Psychology of Early Childhood, Tränsst. A. Barwell, New York, 1939, p. 112).

¹ Японцы даже утилитаризировали чувство *обоняния*, чтобы с его помощью определять время. Часы двухсотлетней давности, периодически испускающие запах ладана, были недавно обнаружены историческим факультетом Токийского университета. Маленькие кусочки ладана, вделанные в их верхнюю часть, сжигались один за другим, и каждый испускал различный аромат и давал возможность для нюхающего определить соответствующее время (см. «The Illustrated London News», 233, № 6213, 5th July 1958, p. 17).

стимуляции самосохранения. Все это можно объяснить тем, что нервная система сама находится в состоянии ожидания и поэтому готова к соответствующему разряду в нужный момент. Высоко развитое чувство ритма дает племени возможность функционировать с четкостью слаженного механизма как на войне, так и на охоте.

У первобытного человека интуиция времени обуславливалась скорее его чувством ритма, чем идеей непрерывной последовательности. Имелось не отчетливое чувство самого времени, а только некоторые временные ассоциации, которые разделяли время на интервалы, подобные тактовым чертам в музыке. Оказывается, что даже с возникновением цивилизации первостепенная важность придается скорее одновременности, чем последовательности. Определенные религиозные и жертвенные акты совершались при особых обстоятельствах, часто связанных с определенными фазами Луны или с солнцестояниями, и только при этих обстоятельствах. Даже в средневековой Европе первые шаги в развитии механических часов, по-видимому, были вызваны скорее потребностью монастырей в точном определении часа, когда должны были происходить различные религиозные службы, чем каким-то желанием регистрировать ход времени.

Действительно, долгое время аспектами времени, которые имели основное значение для человеческого ума, были не длительность, направленность и необратимость, а повторяемость и одновременность. Они были характерными особенностями так называемого «мифического времени». В первобытной мысли мы находим бесчисленные примеры веры в то, что объект или действие «реальны» только постольку, поскольку они имитируют или повторяют идеальный прототип. Следовательно, мы сталкиваемся с парадоксальной ситуацией, что при своем первом сознательном осмыслении времени человек инстинктивно пытался превзойти или устранить время¹. В частности, каждая ритуальная жертва

¹ В недавней статье «Происхождение религии» («The Hibbert Journal», 57, 1959, 349—355) С. Дж. Ф. Брандон утверждает, что такое стремление первоначально было следствием умственного и эмоционального напряжения в результате открытия человеком того,

считалась повторением первоначальной божественной жертвы и совпадала с ней. Как было показано Мирчей Элиаде на многочисленных примерах², жизнь древнего человека характеризовалась повторениями архетипных актов и непрерывной репетицией 'одних и тех же изначальных мифов', так что он стремился жить в непрерывном настоящем³.

Этот взгляд был подкреплен недавними попытками истолковать культурные особенности древних цивили-

что каждое живое творение рождается и умирает, и это открытие интуитивно привело его к попытке «перехитрить» безжалостный поток времени при помощи, например, «ритуального увековечивания прошлого». Проф. Брандон считает, что *религия первоначально противодействовала человеческому осознанию временного процесса*, «ужас которого фокусировался в смерти, но облегчался обещанием новой жизни, выраженным в явлении рождения». Для поддержки этого взгляда он привлекает следующие археологические данные: в то время как человек верхнего палеолита хоронил умерших и снабжал их оружием, орудиями, орнаментами и даже пищей (которая, кстати, часто должна была служить поддержкой для живых), а также стилизованными примитивными фигурками, символизирующими материнство и таким образом обещание новой жизни, не имеется данных, что он обладал понятием божества (или обнаруживал какой-либо интерес к небесным явлениям).

¹ M. Eliade, *The Myth of the Eternal Return* (trans. W. K. Trask), London, 1955, p. 86.

² Этот вывод подтверждается поведением сохранившихся первобытных рас, например австралийских аборигенов. Хотя дети аборигенов обнаруживают в целом такие же умственные способности, как и белые дети, им чрезвычайно трудно сказать о времени по часам. «Они будут точно отмечать положение стрелки и циферблата часов по памяти, но соотнесение часов со временем дня, по-видимому, связано с умственным пробелом, который некоторые из них ухитряются перескочить. Причина заключается в том, что в их жизни, в отличие от нашей, не господствует время. Весь их лагерь будет исчезать ночью и появляться в течение недели; и ученики в школе стремятся приходиться и уходить одним и тем же путем» (C. Railing, *A Vanishing Race*, «The Listener», 62, 16th July 1959, p. 87).

Конечно, все первобытные люди имеют некоторую идею времени и некоторый метод его счета, обычно основывающийся на астрономических наблюдениях. Например, австралийские аборигены будут фиксировать время для предполагаемого действия, помещая камень, скажем, в развилину дерева так, чтобы Солнце осветило его в нужный час. Тем не менее примечательно, что Руссо, который превозносил «благородного дикаря», питал отвращение к времени и часам. Когда он терял свои карманные часы, он благодарил небо за то, что он больше не будет знать, сколько времени (см. E. Saisiret, Rousseau, Kant, Goethe, Princeton, 1945, p. 56).

Заций. Например, объясняя характерные явления древнеегипетской цивилизации — обожествление фараона, его захоронение в пирамиде, захоронение кошек и собак, мумификация умерших, — Генри Франкфорт отверг взгляд Шпенглера, что египетская цивилизация была воплощением сознательного отношения к будущему, и вместо этого пришел к значительно более, как я считаю, правдоподобному выводу, что египтяне имели очень слабое историческое чувство или чувство прошлого и будущего. «Ибо они представляли мир существенно статичным и неизменным. Он вышел полностью Готовым из рук творца. Исторические события были, следовательно, не чем иным, как поверхностными нарушениями установленного порядка или повторяющимися событиями никогда не изменяющегося значения. Прошлое и будущее — отнюдь не имеющие самостоятельного интереса — полностью подразумевались в настоящем; и... обожествление животных и королей, пирамиды, мумификация, а также несколько других на вид не связанных друг с другом черт египетской цивилизации — ее моральные максимы, формы ее поэзии и прозы — все могут быть поняты как результат основного убеждения, что только неизменяющееся имеет истинное значение»¹.

Наличие высокоразвитых календарей, родословных и анналов древних цивилизаций не противоречит этому взгляду.

Как отметил выдающийся французский ассириолог, «мы должны признать тот факт, что древние жители Месопотамии не рассматривали историю в том же свете, как ее рассматривают, по крайней мере иногда (intermittently), наши современники. Они интересовались главным образом самими собой, и практически все время оставались довольными существующим»². Даже для греков вся история сводилась в общем к современной им истории. Более того, время, регистрируемое их солнечными, песочными, водяными и т. п. часами, «более походило на нерегулярное течение реки, чем на

строго проградуированный измерительный стержень»¹. И если мы наталкиваемся на примеры абстрактных спекуляций относительно огромных промежутков (alons) времени, особенно у древних индусов и майя², мы находим, что, несмотря на то что время являлось предметом сложнейших вычислений, оно рассматривалось только как вечное повторение космического ритма.

В целом в первобытных обществах и в наиболее древних цивилизациях изменение считалось не непрерывным процессом, происходящим во времени, а прерывистым и скачкообразным. Принципиальные изменения в природе рассматривались происходящими внезапно, но неизбежно в круговороте с определенным ритмом. Аналогично этому протекание жизни человека пред-

¹ E. K. Leach, Primitive Time-Reckoning, в: A History of Technology, ed. C. Singer et al., Vol. 1, Oxford, 1954, p. 126.

² Из всех древних людей жрецы майя разработали наиболее тщательный и точный астрономический календарь и благодаря этому получили громадное влияние среди масс. Действительно, скорректированная формула календаря, полученная астрономами-жрецами из Копана в IV и VII столетиях н. э., была даже более точна, чем наша современная ежегодная коррекция, введенная папой Григорием XIII только в 1582 году. Наша коррекция добавляет за 'Столетие 0,03 дня, тогда как, согласно коррекции древних майя, за столетие убавлялось 0,02 дня (S. G. M o g l e y, The Ancient Maya, 2nd ed., 1947, p. 305).

В отличие от греков, в философии которых господствовало предположение, что идеальным знанием в сущности была геометрия, идея времени навязчиво преследовала древних майя. Все обелиски 'И алтари были воздвигнуты, чтобы отметить прохождение какого-либо периода времени, и были посвящены концу периода. Интервалы времени изображались в виде ноши, переносимой на спинах иерархии богов-носильщиков (персонификация чисел, благодаря которым различались периоды времени — дни, месяцы, годы и т. д.). Имелись короткие паузы в конце каждого предписанного периода, когда один бог со своей ношей сменялся другим. Тем не менее майя никогда не рассматривали идею времени в виде путешествия носильщика с его грузом. Более того, согласно их пророчествам, прошлое, настоящее и будущее стремились стать одним. Боги-носильщики, сменяясь, несли время вперед в своем бесконечном путешествии, но в то же самое время события двигались по кругу, что 'отображалось повторяющимися периодами участия каждого бога :в последовательности носильщиков. Дни, месяцы, годы и т. д. — все •были сменяющимися членами команды, марширующей сквозь вечность. Вычислив, какие боги будут маршировать в данный день, жрецы могли бы определить совместное влияние всех богов и тем •самым предсказать судьбу человечества (J. Eric, S. Thompson, The Rise and Fall of Maya Civilization, London, 1956, p. 149).

¹ H. Frankfort, The Birth of Civilization in the Near East, London, 1951, p. 20.

² G. Contenau, Everyday Life in Babilon and Assyria, London, 1954, p. 213.

ставлялось в виде ряда различных периодов, прерывающихся неожиданными кризисами и переменами. Они внушили *les rites de passage* (обряды прохождения) — ритуальные церемонии, которые, как впервые отметил ван Геннеп¹, в разных культурах отличаются только деталями, но в сущности являются универсальными.

Действительно, долог был путь от неоднородности мифологического времени с его особыми святыми днями и счастливыми и несчастными мирскими днями к однородности физического времени, признаваемой современными цивилизованным человеком.

Тем не менее первобытная идея времени как ритмического повторения стала основой его деления и в конце концов его измерения. Одним из древнейших и наиболее широко распространенных сознательных выражений этой идеи являются мифы о Луне; многие из наиболее древних цивилизаций, например цивилизация Ура, основывались на поклонении Луне. Фазы Луны представляли живой пример вечной повторяемости и служили более очевидной единицей времени, чем солнечный год. В индоевропейских языках мы также находим, что большинство слов для обозначения месяца и Луны происходят от одного и того же корня *te*, например в латынском имеем *mensis* и *metior*, «to measure» («измерять»). См. также русское слово «мера». — *Прим. перев.*) Кроме того, в религии Древнего Египта имя бога, давшего людям искусство письма и счета, было Тот, бог Луны, который как размежеватель и измеритель времени был покровителем точных и непогрешимых измерений.

Таким образом, несмотря на свою ограниченность, древняя концепция времени имела огромное значение для развития цивилизации. Растущее освобождение человеческой мысли от господства непосредственных чувственных впечатлений неизбежно сопровождалось развитием человеческого осмысления времени и человеческих представлений о вселенной. В то время как первобытный человек стремился наглядно представить себе все процессы природы чисто субъективно и рассматривал их как находящиеся во власти произвольных демо-

нических сил, на которые можно было повлиять с помощью магии, цивилизованный человек был склонен все более и более направлять свою мысль к созерцанию универсального мирового порядка. В этой самой великой революции в человеческой мысли небесные тела играли фундаментальную роль. Ими перестали интересоваться исключительно с точки зрения их непосредственных физических действий, они стали рассматриваться как неизменные мерилы времени, гарантирующие надлежащую синхронизацию событий. Таким образом, из первоначального осмысления человеком ритма и периодичности постепенно возникла абстрактная идея всемирного однородного времени. Но эта концепция, как и концепция пространства, не была ясно сформулирована в математических терминах до тех пор, пока не произошла научная революция XVII века¹.

4. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ (I)

В последние годы было проведено много исследований для выяснения биологической и физиологической основы нашего осознания (*awareness*) времени. Традиционно мы рассматриваем наше тело как обладающее пятью чувствами: зрением, слухом, осязанием, вкусом и обонянием; но не обладаем ли мы также некоторым чувством осознания времени? На этот вопрос давались совершенно разные ответы. Например, Мах² в противоположность Канту утверждал, что время не является

¹ В средневековой Европе, не менее чем в средневековом Китае и доколумбовской Америке, время не рассматривалось в виде непрерывного математического параметра, но было расщеплено на отдельные времена года, знаки зодиака и т. д., причем каждый оказывал свое особое влияние. В китайской мысли вселенная рассматривалась как огромный организм, подвергающийся циклическому процессу изменения, возглавляемому то одним, то другим компонентом, и идея *последовательности* подчинялась идее *взаимозависимости* (M. Gernet, *La Pensée Chinoise*, Paris, 1934, p. 330; J. Needham, *Science and Civilization in China*, Vol. 2, Cambridge, 1956, p. 288—289). Примечательно, что подобное отношение ко времени характерно также для взгляда на мир древних мексиканцев (J. Soustelle, *La Pensée Cosmologique des Anciens Mexicains*, Paris, 1940, p. 85).

² Э. Мах, *Анализ ощущений и отношение физического к психическому*, М., 1908, стр. 209.

¹ A. van Gennep, *Les Rites de Passage*, Paris, 1909. Английский перевод — *The Rites of Passage*, trans. M. B. Vizedom and G. L. Caffee, London, 1960.

априорным условием умственной деятельности, но должно рассматриваться как особое апостериорное ощущение, которое, по его мнению, было связано с «работой внимания». Гюйо указал, что это ощущение времени, если оно существует, является смутным, беспорядочным и весьма склонным к ошибкам. Пьер Жане пошел дальше и категорически отверг идею Zeitsinn (чувства времени): «Нельзя интерпретировать как элементарное ощущение восприятие длительности, этого сложного и сравнительно позднего феномена, который мы понимаем еще очень плохо, так как наши представления о времени весьма неопределенны»¹.

Тем не менее, несмотря на трудности и запутанность нашего сознательного осмысления времени, то есть времени на психологическом уровне, появляется все больше доводов в пользу существования надежных биологических часов не только в человеке, но также в животных и даже в растениях.

Некоторые наиболее интересные исследования по этому вопросу были сделаны при изучении перелетов птиц. Специалисты утверждают, что птицы могут поддерживать определенный курс по положению Солнца и с помощью какого-то вида «внутренних часов». Хотя этот механизм еще очень мало известен, считается, что во многих случаях он обладает удивительной точностью². Эти внутренние часы вместе с врожденной способностью чувствовать положение Солнца на небе позволяют молодым и неопытным птицам лететь приблизительно в правильном направлении во время осенних перелетов. В замечательной серии экспериментов Крамер приучал скворцов кормиться в одном месте в определенное время дня, а затем испытывал птиц в другое время. Крамер нашел, что они все же обнаруживали место кормления. Он сделал вывод, что птицы могут следить за регулярным суточным движением Солнца и что они имеют некий вид внутренних часов, позволяющий им действительно измерять течение времени³. Он открыл также, что, если их держать в закрытом поме-

щении, освещаемом электрической лампочкой, они тем не менее систематически изменяют свою ориентировку в течение дня в соответствии с вращением Земли, обнаруживая тем самым внутреннюю природу процесса.

Еще более замечательными являются результаты экспериментов по миграции соловьев (warblers), сделанных во Фрейбурге Зауэром⁴. Так как эти птицы летают главным образом ночью, выводок был высижен в специально спроектированной исследовательской клетке внутри планетария, где птицы жили в иллюзии непрерывного лета. Без каких-либо внешних намеков о времени года, когда наступила осень, они начали беспокойно летать ночь за ночью, как будто проинформированные внутренними часами, что пришло время сниматься с места. Более того, эксперименты определили, что они перелетают по звездам с помощью точного чувства времени, которое дает им возможность соотносить картину неба в любое время года с географией земной поверхности.

Стойкая суточная ритмичность была найдена у многих животных. Часто она сохранялась, даже когда они удалялись из определенного окружения, с которым эти периодические изменения давали им возможность бороться. Например, медузы на берегу разжимаются, когда их накроет вода, но, если поместить их в бак с морской водой, они продолжают разжиматься, открываться и сжиматься в соответствии с временем прилива и отлива, хотя в баке нет ни прилива, ни отлива. Вполне точный внутренний механизм контроля времени обнаруживается также у насекомых. В частности, медовые пчелы, по-видимому, имеют очень хорошую память времени, которая предупреждает их о бесполезности путешествий к цветам, дающим нектар только в определенное время дня. Известный знаток поведения пчел Карл Фриш нашел, что их можно приучить прилетать к кормушке в определенное место в одно и то же время на протяжении ряда дней, но не в различное время, благодаря чему обнаруживается существование какого-то внутреннего суточного цикла. Действительно,

¹ P. Janet, op. cit., p. 47.

* G. T. Matthews, Bird Navigation, Cambridge, 1955, Chapter V и след.

³ O. Kramer, Experiments on Bird Orientation, «Ibis», 94, 1952, 265—285.

⁴ E. G. F. Sauer, Celestial Navigation by Birds» «Scientific American», 199, № 2, August 1958, p. 42—47.

лы будут продолжать посещать то же место в одно и то же время даже через несколько дней после того, как кормушка станет пустой¹.

Во многих случаях оказывается, что биологические часы некоторым образом зависят от *метаболической активности*. В случае, если животные, впадают в зимнюю спячку, биологические часы могут эффективно приостанавливаться. Значительно чаще на биологические часы оказывает большее или меньшее влияние внешняя температура. Так, Лёб нашел, что, если мух содержать при слишком высокой температуре, они быстрее стареют и скорее умирают. Пчелы, которых кормили химикалиями, усиливающими их метаболизм, стремились прибыть слишком рано к цветам, от которых они обычно получали нектар. С другой стороны, если они помещались в рефрижератор в промежутке между полетами, они стремились прибыть к цветкам позднее. В пределах, совместимых с функциями жизни, повышение (или понижение) температуры вызывает ускорение (или замедление) внутреннего времени организма, определяемого скоростью его физиологических процессов. Это происходит из-за того, что уровень температуры является первичным фактором, контролирующим химическую активность, лежащую в основе этих процессов. Когда температура организма повышается, органическая активность усиливается, внутренние метаболические часы идут быстрее и кажущаяся длительность единицы времени соответствует более короткому интервалу физического времени.

Тем не менее имеются данные, что даже у многих холоднокровных организмов есть биологические часы, на которые мало влияют изменения температуры, по крайней мере в пределах приблизительно от 10 до 30° С. Это трудно понять, если часы зависят от метаболической активности, и заставляет думать, что они могут быть *клеточными*. Например, Ф. А. Браун² и его ассистенты, работая в Вудс-Хоулс, Массачусетс, исследовали часы, которые контролируют ритм расширения и сокращения пигментных клеток обычного манящего кра-

ба. Он обнаруживает строго 24-часовой цикл изменений цвета. В течение дня черный пигмент его спинных "клеток" распространялся по этим клеткам, делая их темными, и таким образом защищал краба от яркого солнца и хищников. С наступлением ночи краб становится бледнее, так как пигмент концентрируется в ядрах клеток, а с рассветом весь цикл начинается сначала. Несколько таких крабов были помещены в темную комнату, в которой поддерживалась постоянная температура, и обнаружилось, что колебания температуры от 26 до 6° С не действуют на ритм. Хотя при более низкой температуре имеющееся распространение клеточного пигмента было значительно меньшим, чем при более высокой, часы, связанные с последовательностью изменений цвета, шли согласно смене дня и ночи и давали ошибку не более нескольких минут в два месяца. Однако, когда температура понизилась почти до 0°С, ритм исчез. Когда температура опять повысилась, ритм восстановился, но с соответствующим отставанием по фазе. Например, когда низкая температура поддерживалась на протяжении шести часов, восстановленный ритм отставал по фазе на четверть цикла, а если бы низкая температура сохранялась 24 часа, восстановленный ритм находился бы в фазе.

Кроме того, было найдено, что период максимального потемнения стремился наступать позднее приблизительно на пять минут каждый день. Этот период соответствовал времени максимального отлива, которое изменялось с такой скоростью день за днем. Отсюда было ясно, что, кроме 24-часового цикла, должен иметься другой цикл в 12 часов 25 минут. Обнаружилось, что этот ритм также существует с замечательной точностью. Обобщая, Браун предсказал, что «развитие точных независимых от температуры внутренних часов приносит такую пользу, помогая организмам приспосабливаться к окружающей среде и поддерживать их жизнестойкость, что они будут обнаружены у всех живых существ»¹.

¹ Другие данные в пользу этой далеко идущей гипотезы были приведены затем ботаником Эрвином Бюн-

¹ К. Фриш, Пчелы, их зрение, обоняние, вкус и язык, Издательство иностранной литературы, 1955, стр. 64.

² F. A. Brown, «Physiological Zoology», 22, 1949, 136—148,

¹ F. A. Brown, «Scientific American», 190, № 4, April 1954, 37.

нингом из Тюбингена¹. Он исследовал растения, восприимчивость которых к свету изменялась на протяжении суток, даже после нескольких дней при постоянных внешних условиях. Эти растения, по-видимому, обладали некоторым эталоном времени, с которым они сравнивали продолжительность дня. Если она была существенно больше или меньше, чем некоторый критический период времени, то автоматически начиналась какая-нибудь реакция наподобие распускания цветка². Таким путем растения определяют длительность в несколько часов с точностью до немногих минут. Как и в случае с манящим крабом, часы эффективно независимы от температуры в пределах приблизительно от 10 до 30°С; но понижение температуры ниже 10°С, по-видимому, останавливает их, так что после периода в несколько часов при низкой температуре следующий максимум ритма при повышении температуры сдвигается на несколько часов.

Если, однако, растения охладить до 5°С более чем¹ на десять часов, то при восстановлении нормальной температуры почти всегда проходит такой же интервал времени перед тем, как будет достигнут новый максимум цикла. Это означает, что затянувшееся охлаждение не фиксирует осциллятор в фазе, которая преобладала перед охлаждением, но заставляет его «расслабляться» с его нулевого положения, показывая, что цикл следует рассматривать как период «релаксационного колебания» («relaxation oscillation»)³. Это подтверждается бездействием очень низкой температуры на различных фазах цикла: имеется фаза в несколько ча-

¹ E. Bünning, «Nature», 181, 1958, 1169.

² Это явление называется фотопериодизмом.

³ Релаксационные колебания играют важнейшую роль в физиологических системах, так же как и простые гармонические колебания в физических системах, но в отличие от последних они обладают заметной несинусоидальностью. Вместо инерции, вызванной упругой сокращающей силой, некоторое состояние или напряжение медленно повышается до определенного критического порогового потенциала, когда автоматически происходит довольно быстрая разрядка, и затем процесс начинается сначала. Термин «релаксационное колебание» предложен Б. ван дер Полем (B. van der Pol, «Phil. Mag.», 2, 1926, 978). Он проанализировал это понятие математически и приложил его ко многим явлениям, в том числе к сокращению сердца (см. B. van der Pol and J. van der Mark, «Phil. Mag.», 6, 1928, 763).

Сой, которая при охлаждении не может сдвигаться на много (фаза релаксации), тогда как охлаждение на другой фазе (фаза напряжения, или притока энергии) заставляет осциллятор релаксировать к его «нулевому значению». Хотя энергия притекает благодаря дыханию, не имеется доводов, что осциллятор является центральным механизмом. Действительно, в отличие от животных растения никогда не пользуются центральной регуляцией периодичности. Напротив, Бюннинг делает вывод, что растения должны иметь часы в каждой клетке, что следует также из экспериментов над одноклеточными водорослями (например, суточные колебания в фотоактивной восприимчивости *Euglena* и в люминесценции *Gonyaulax*).

В случае нервных клеток внутреннее или «автоматическое» функционирование впервые было продемонстрировано в 1931 году Эдрианом и Бойгендеком¹, которые открыли спонтанную активность дыхательных центров золотой рыбки. Через десять лет П. Вейсс² показал, что если удалить кусочек нервной ткани амфибий и затем внедрить его в достаточно снабженную сосудами ткань другой амфибии того же вида («метод пересадки»), это не нарушит связей в центральной нервной системе хозяина. Но если в то же время вблизи привить также член тела, от пересаженной нервной ткани вырастут по направлению к нему волокна; и как только налаживается контакт, привитый член начинает совершать ритмичные движения. Вейсс заключил, что «способность к спонтанной ритмической активности имеет местный характер в большей части центральной нервной системы».

Фактически каждая живая клетка может иметь свои собственные часы. Это не будет удивительным, если вспомнить, что клетка, в отличие, скажем, от камня, обычно имеет определенную историю жизни, заключающуюся в точной последовательности процессов. Было даже найдено возможным разработать лабораторную технику, посредством которой синхронизировались «исто-

¹ E. D. Adrian and F. J. J. Buytendijk, «J. Physiol.», 71, 1931, 121—135.

² P. Weiss, «Proc. Amer. Phil. Soc.», 84, 1941, 53—64.

рии жизни» (life-histories) всех клеток данной культуры¹.

Однако недавно появилось строгое доказательство, что ключ к нашему пониманию фотопериодизма в растениях лежит в особом световоспринимающем пигменте, которому было дано название *фитохром*². Фитохром существует, вероятно, во всех растениях в двух различных формах, одна из которых «стабильна» и другая «активна». Первая, известная как P660, превращается в другую (P735), когда освещается красными лучами с длиной волны 660 миллимикрон (660×10^{-7} см) или после долгого периода освещения дневным светом. Аналогично P735 превращается в P660 при освещении инфракрасными лучами длиной волны 735 миллимикрон: но P735 медленно и самопроизвольно превращается в P660 также в темноте. Через некоторое время стало известно, что свет таких особых длин волн тесно связан с фотопериодизмом, или препятствуя, или способствуя росту и цветению, что зависит от конкретного вида рассматриваемого растения. Вероятно, фитохром химически активен в форме P735, катализируя некоторые биохимические реакции, от которых зависят определенные решающие стадии в истории жизни растения. Более того, возможно, что скорость, с которой активная форма фитохрома спонтанно превращается в темноте в стабильную форму, снабжает растение «часами» для измерения длительности ночного периода. Хотя мы еще далеки от понимания относящихся к этому разряду явлений, открытие фитохрома может привести к большому прогрессу в наших знаниях о биологическом времени в растениях.

5. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ (II)

Обращаясь к человеку, можно сказать, что его чувство времени подвержено сравнительно небольшим изменениям с точки зрения физического времени, несмотря

¹ O. Scherbaum and E. Zeuthen, Induction of synchronous cell division in mass cultures of Tetrahymena, «Experimental Cell Research», 6, 1954, 221.
² W. L. Butler, K. H. Norris, H. W. Siegel and S. B. Hendricks, «Proc. Nat. Acad. Sci.», Washington, 45, 1959, 1703—1708.

на грандиозные изменения в его окружающей среде. Но у человека внутренняя температура поддерживается практически постоянной, независимо от внешней температуры. В классическом эксперименте 1936 года Маклеод и Рофф нашли, что два человека, помещенные в испытательную камеру на 48 и 86 часов соответственно, определяли время с такой точностью, что их относительная ошибка не превышала одного процента¹. Однако эти оценки нельзя строго сравнивать с наблюдаемыми в поведении птиц и пчел подобными же явлениями, которые, по-видимому, имели чисто автоматическую физиологическую основу. С другой стороны, мнение Локка, что люди не имеют никакого восприятия времени, «но при размышлении над потоком идей они обнаруживают следование одной идеи за другой при их осознании»², очевидно, совершенно не подходит для объяснения высокой степени точности, полученной в этом эксперименте.

Интересный, но несколько иной тип эксперимента для проверки существования некоторого вида часов в подсознании был произведен Дж. Редвудом Андерсоном с использованием *Cannabis indica* (гашиша). Эксперимент, как писал Андерсон Уолтеру де ла Мару³, заключался в оценке интервалов времени в продолжение разговора (с другом, не находящимся под влиянием наркотика), так что испытуемый не мог как-либо сознательно рассчитывать течение времени. Его преследовала галлюцинация громадной мерной ленты, размеченной не в дюймах и футах, но в секундах, минутах, днях и годах. Вдоль этой шкалы двигалась стрелка. Когда его друг говорил ему время, стрелка отмечала это время на шкале. Если друг просил его определить, когда истечет, скажем, пять минут тридцать секунд, оказывалось, что он может сделать такое определение совершенно точно. Андерсон повторял этот эксперимент много раз и каждый раз успешно. Для этого ему было достаточно мигом бросить взгляд на стрелку,двигающуюся вдоль шкалы. Вся галлюцинация казалась ему реально суще*

¹ R. B. Macleod and M. M. T. Roff, «Acta Psychol.», Hague, 1, 1936, 389—423.

² Дж. Локк, Опыт о человеческом разуме, Избр. филос. соч., т. 1, стр. 199.

³ Walter de la Mare, Desert Islands, 1930, p. 95—96.

ствующей. «Я не знаю, какое время определялось на шкале, но шкала была рассчитана на много лет; стрелка точно определяла данный момент — слева от нее было прошлое, а справа — будущее, в то время как она сама двигалась постоянно и неумолимо».

Очень вероятно, что постоянная температура человеческого тела является решающим фактором, связывающим индивидуальное время человека с универсальным физическим временем и предохраняющим их взаимоотношение от излишней неустойчивости. Эта гипотеза была проверена Г. Хогландом¹, который в своем исследовании «химической основы нашего чувства времени» нашел, что эксперименты по оценке времени людьми с повышенной температурой подтверждают, что повышенная температура тела вынуждает химические часы идти быстрее и поэтому внешнее время кажется идущим медленнее.

Важным временным процессом у человека, а также у животных является процесс контролирования сна. Мы знаем, что в мозге имеется «центр пробуждения» и, возможно, имеется также «центр засыпания», но мы все же не знаем, как они обеспечивают суточный цикл, подверженный, однако, некоторым колебаниям, обусловленным внешними стимулами. Д. О. Хебб² считает, что должен иметься физиологический синхронный процесс в стволе мозга, который в основном не зависит от сенсорной регуляции.

Процессы, связанные с физиологическим временем человека, распадаются на две группы: повторяющиеся процессы, подобные сокращениям сердца, и прогрессирующие процессы, подобные склерозу ткани и артерий. Повторяющиеся процессы, однако, часто подвергаются прогрессивному изменению. Это явление было детально изучено Леконтом дю Нуи, особенно в отношении скорости заживления наружных ран. Он провел четкое различие между однородным *Вре́йе́ием* звездных явлений, и физиологическим временем; Та* как время, необходимое для восстановления, данной единицы физиологической работы, в среднем почти в четыре раза больше в возрасте пятидесяти лет, чем в возрасте десяти, он

¹ H. Hogland; Pacemakers, in Relation to Aspects of Behavior, New York, 1935, p. 107—120.

² D. O. Hebb, A Textbook of Psychology, Philadelphia and London, 1958, p. 174.,

утверждает, что «поэтому все происходит так, будто звездное время течет в четыре раза быстрее для человека пятидесяти лет, чем для ребенка десяти лет»¹.

Имеется другая альтернатива: рассматривая скорость звездного времени как постоянную, мы находим, что физиологическое время разных людей различно, а также меняется у одного и того же человека на разных стадиях его жизни. Леконт дю Нуи полагает, что, хотя не все биологические явления замедляются с одинаковой скоростью в процессе старения, мы можем все же говорить об основном физиологическом времени, связанном с размножением клеток, так как это «основное явление при строительстве живой материи»².

Тот факт, что замедление органических процессов с возрастом в общем представляет собой флуктуирующий, а не полностью регулярный процесс, может показаться противоречащим нашей гипотезе о довольно точных внутренних часах, но последняя относится только к коротким интервалам времени по сравнению с нормальным периодом жизни, тогда как флуктуации физиологического времени относятся к значительно более продолжительным интервалам³.

Физиологическое время отличается от физического времени тем, что оно является в сущности внутренним, временем, связанным с областью пространства, занимаемой живыми клетками, которые *относительно изолированы от остальной вселенной*. Физиологическое время

¹ Lecomte du Noüy, Biological Time, London, 1936, p. 160.

² Lecomte du Noüy, op cit., p. 163.

³ Согласно Мирче Элиаде (Mircea Eliade, Time and Eternity in Indian Thought, в: «Man and Time», статьи из «The Eranos Yearbooks», London, 1958, p. 196), в результате прогрессивно замедляющегося ритма дыхания, то есть удлинения вдоха, выдоха и интервала между ними, время для йогов протекает по-иному, чем для нас. «Возможно даже, — пишет он, — что ритмичность дыхания оказывает значительный эффект на физиологию йогов». В Ришикеше в Гималаях он встретил аскета, который проводил почти всю ночь в осуществлении *grāhāyama* и никогда не ел больше горсти риса в день. Тем не менее он имел тело идеального атлета и не обнаруживал признаков недоедания или утомления. «Я удивился, почему он никогда не бывает голоден. «Я живу только днем, — ответил он, — ночью я уменьшаю число своих вдохов в десять раз». Я не совсем уверен, что правильно его понял, но возможно, что, так как жизненное время измеряется числом вдохов и выдохов, он просто за десять часов жил только десятую часть нашего вре-

регулируется реакцией клеток на изменения, происходящие внутри этой области, например скоростью накопления отработанных продуктов. Если состав (composition) области искусственным образом поддерживается неизменным, то жизнь в ней действительно является вечной, но в природе продолжительность жизни контролируется тем фактом, что нельзя полностью избежать медленных прогрессивных видоизменений в сыворотке и ткани. Таким образом, постепенное замедление наших физиологических процессов создает иллюзию, что, когда мы становимся старше, время стремится все более убыстрить свой бег. Этой иллюзии благоприятствуют также психологические факторы. Когда мы становимся старше, не только наша жизнь стремится стать полнее, но также единица физического времени становится все меньшей и меньшей частью всей нашей прошлой жизни. Тем не менее даже для тех, чья жизнь сравнительно пуста, физическое время, по-видимому, проходит более быстро, когда они стареют.

Физиологическое время также отличается от психологического времени тем, что на последнее влияют сознательные факторы, например интеллектуальная установка (mental attitude). Но, как утверждает видный физиолог Алексис Каррел, психологическое время не является продуктом одних этих факторов. Каждая клетка регистрирует время по-своему. «Это регистрирование времени тканями может, вероятно, достигать порога сознания и вызывать неопределенное чувство в глубинах беззвучно текущего потока нашего «я», потока, в котором плывут состояния нашего сознания, подобно отблескам света прожектора на темной поверхности необъятной реки»¹.

Тем не менее, хотя в общем считается, что человеческое чувство времени не связано с каким-либо особым

мени, то есть один час, благодаря тому, что, в течение ночи он уменьшил ритм своего дыхания до одной десятой нормального. Если считать время по числу вдохов, то день из двадцати четырех солнечных часов имел для него длительность только от двенадцати до тринадцати часов: таким образом, он съел горсть риса не за каждые двадцать четыре часа, но за каждые двенадцать или тринадцать часов». Д-р Элиаде осторожно указывает на то, что это только гипотеза, но он добавляет, что пока не имеется никакого удовлетворительного объяснения удивительной молодости йогов.

¹ A. Carrel, *Man the Unknown*, London, 1948, p. 167.

органом тела, в течение последних тридцати лет или около этого физиолог Анри Пьерон и другие предполагали, что определение человеком времени, вероятно, зависит главным образом от процессов в центральной нервной системе, в частности от мозговых ритмов (которые ускоряются с повышением температур тела)¹. Эта гипотеза недавно была разработана физиком У. Гудди² и значительно более детально математиком Норбертом Винером³.

Конечно, кроме нервной системы, имеется много органов тела с ритмическим характером активности, особенно артериальный пульс, который давно известен своим в общем регулярным ритмом при постоянных условиях. Но Гудди утверждает, что благодаря своей обобщающей функции как конечного посредника нашего осознания всех ритмических механизмов тела, которые в основе не являются нервными, центральная нервная система представляет внутренние часы в последней инстанции. Хорошо известно, что память и предвидение, так же как здравый смысл, сосредоточение внимания, способность суждения и т. д., нарушаются, если повреждена кора мозга⁴. Гудди указал, что эти разные процессы имеют одну общую основополагающую черту, а именно потерю временной оценки. Таким образом, если память пропадает, воспоминание и упорядочивание прошлого времени нарушается. Потеря сосредоточения внимания обусловлена неспособностью сохранить «на мелкой шкале» сенсорномоторную активность, непосредственно касающуюся настоящего, а потеря предвидения, здравого смысла и способности суждения означают дефект «вперед смотрящей памяти» или предсказания. Если эти способности развиты недостаточно, то больной не может больше оценивать степень вероятности будущих событий на основе информации, поступившей из прошлого.

¹ H. Piéron, *The Sensations: Their Functions, Processes and Mechanisms*, London, 1952, p. 294.

² W. Gooddy, «The Lancet», № 7031, 31 May 1958, 1139—1141.

³ N. Wiener, «Scientia», 93, 1958, 199—205.

⁴ Одним из обычных дефектов, образующихся при повреждении коры, является потеря ясного определения времени: ритмично повторяющиеся стимулы кажутся пациенту «происходящими все время» в виде непрерывного звука вместо отдельных тактов, и он не может определить момент, когда он включается или устраняется (H. Head, *Studies in Neurology*, Oxford, 1920, vol. 11, p. 755).

«На нейрофизиологическом уровне, — пишет Гудди, — мы должны ожидать, что найдем данные о системах часов, особенно если эти данные предполагают, что (а) кора мозга играет роль вычислителя и «её функция заключается в отборе, дифференцировании, конденсировании и абстрагировании ритмов или схем нейронной активности» и что (б) восприятие зависит от пространственно-временного упорядочивания нервной деятельности. Мы должны быть способными дедуцировать далее, что характерной особенностью нейрофизиологических часов коры должен быть упрощенный ритм, абстрагированный от множества нервных клеток, процессов, каналов и импульсов».

Со времени новаторских исследований английского физика Р. Кэйтона в 1875 году было известно, что мозг генерирует электрические токи. С дальнейшим усовершенствованием регистрирующих приборов Ганс Бергер открыл в 1924 году непрерывную ритмическую деятельность мозга. Но только в 1934 году Эдриан и Мэтьюс убедительно показали, что электроэнцефалограммы, зарегистрированные в виде разности потенциалов между парой электродов, прикрепленных снаружи черепа, представляют в общем эффективную запись деятельности мозга. Соответствующая разность потенциалов очень мала, порядка десяти микровольт, но частоты колебаний более существенны, чем амплитуды. Разложение записей на гармоники очень сложно, но были обнаружены четыре основных типа ритма, каждый из которых характеризуется особой частотой колебания. Из них наиболее важен у нормального взрослого человека (особенно на задней части черепа) так называемый альфа-ритм, частота которого колеблется от 8 до 12 периодов в секунду, в среднем приблизительно 10 периодов в секунду. Гудди утверждает, что этот ритм является конечной абстракцией от всех других ритмов тела и представляет внутренние часы как таковые.

Эта гипотеза подвергается сомнению вследствие того, что альфа-ритм исчезает, когда мозг наиболее активен. Как правило, это наиболее ясно видно, когда глаза закрыты и субъект отдыхает. Если он откроет глаза или начнет интенсивно думать над проблемой, этот ритм оказывается чрезвычайно трудно обнаружить.

Но, конечно, чувство времени у субъекта сохраняется!

Норберт Винер указал, однако, что, так как мы можем генерировать альфа-ритм искусственно, воздействуя на глаз видимым мерцанием от внешних импульсов со скоростью около 10 в секунду, разумно предположить, что естественный ритм является реакцией мозга на мигания, которые вызываются его собственными внутренними колебаниями¹. Тщательный анализ записей показывает, что в области вокруг особой средней частоты, близкой к 10 герцам, имеется острый пик большой интенсивности и с малой шириной по частоте (менее 0,1 герца) в центре. Винер утверждает, что *эта узкая полоса частот представляет собой часы мозга*, идущие с точностью около двух тысячных или около трех минут в день. В пользу этой интерпретации он приводит данные недавнего анализа явления «времени реакции», то есть времени задержки нашей реакции на предостерегающий сигнал. Вместо существования фиксированного интервала между воздействием, скажем, на глаз и последующим действием мускулов имеется, пишет он, «реальное доказательство того, что глаз не может передать мозгу свое раздражение прежде, чем в определенный момент «тикнут» часы в мозге, а частота «тикания» составляет, по-видимому, около 10 в секунду». Точно так же, когда импульс идет от мозга к мышцам, он, по-видимому, передается не непрерывно, но должен ждать, пока тикнут другие часы, а эти часы также, кажется, тикают с той же скоростью. Поэтому Винер заключил, что рассматриваемые часы совпадают с часами, находящимися в центре альфа-ритма.

Что касается возможного механизма этих часов, то коллеги Винера М. Брэзье, Дж. Барлоу и У. Розенблит обнаружили, что некоторые локальные колебания активности в мозге, по-видимому, имеют тенденцию синхронизи-

¹ Недавние исследования обнаружили, что преобладание альфа-ритма, когда мозг находится в покое, обусловлено синхронизированными флуктуациями большой группы клеток, тогда как низковольтный характер электрической активности, обнаруживаемый возбужденным мозгом, соответствует очень разнообразным видам деятельности его различных частей.

зироваться друг с другом'. Следовательно, какими бы нестройными ни были осцилляторы мозга, они могут тем не менее составить сравнительно синхронную комплексную систему. Более того, предварительный математический анализ обнаруживает распределение интенсивностей вокруг центральной частоты с шириной, подобной ширине распределения, ранее полученной из электроэнцефалограмм, с острой, узкой полосой частот большой интенсивности в центре. Винер предполагает, что «здесь мы имеем механизм, обеспечивающий точность часов мозга».

6. СОЗНАТЕЛЬНОЕ ПОНИМАНИЕ И СУЖДЕНИЕ О ВРЕМЕНИ

Мы уже видели, что наша *идея* времени, даже если она эпистемологически априорна как существенное предположение физической науки, является продуктом человеческой эволюции. С другой стороны, наше *осознание* временных явлений, по-видимому, в первом приближении должно основываться исключительно на фундаментальном и ни к чему не сводимом личном опыте. Тем не менее при дальнейшем анализе становится ясно, что наше восприятие явлений времени, как и восприятие многих других явлений, которые мы иногда рассматриваем как

¹ Проблема «синхронизации» связанных осцилляторов (с нерезонансным переносом энергии) исследовалась в различных работах. Р. Адлер (R. Adler, «Proc. Inst. Radio Eng.», New York, 34, 1946, 351) изучал соединение *гармоничных* осцилляторов (синусоидальных) и нашел, что результирующее колебание было промежуточным по частоте со сдвигом фазы, зависящим от силы связи и разности частот первоначально несвязанных осцилляторов. Однако в случае *релаксационных осцилляторов* (заметно несинусоидальных) Дж. Прингл (J. S. Pringle, «Behaviour», 3, 1951, 174—215) нашел, что результирующая частота может приближаться к частоте более быстрой компоненты, так что, можно сказать, более быстрая «управляет» более медленной. Так называемый «магнет-эффект», открытый Э. фон Хольстом (E. von Holst, «Pflüger's Archiv», 237, 1936, 93—121) при изучении принципов координации, управляющих плавательными движениями грудных и спинных плавников рыб, есть, вероятно, пример такого явления. Хотя ритмы движения этих плавников могут отличаться, обычно один из них является преобладающим и стремится заставить другие действовать синхронно.

ни к чему не сводимые, является комплексной деятельностью, приобретаемой нами путем обучения. Как мы уже отмечали ранее, мы должны различать между последовательностью представлений и нашим осознанием временной последовательности, которая заключена в них.

Наше осознание времени содержит факторы, которые мы не связываем с абстрактным понятием времени, особенно фиксация внимания. Наше внимание может быть постоянно направлено на ход событий, так что прежде, чем оно приспособится к одному представлению, оно отвлечется другим; или оно может стационарно поддерживаться повторением одного и того же представления. Наше сознательное знание времени зависит от того факта, что наш ум действует при помощи *последовательных актов внимания*¹; в частности, на него влияет характер (*tempo*) нашего внимания. Этот характер зависит как от содержания внимания, так и от нашего собственного физического и психического состояния. Хорошо известно, что на осознание времени могут сильно влиять наркотики. Так, де Куинси при описании действия опиума рассказывал, что опиум иногда вызывает иллюзию огромного расширения времени, так что ему показалось, будто он прожил семьдесят или сто лет за

¹ По-видимому, мы не можем занимать внимание двумя одновременно событиями и ясно воспринимать каждое из них, если только они не скомбинированы определенным образом; например, мы не можем занять внимание визуальной информацией и независимой звуковой информацией, если они даны нам одновременно (G. H. Mowbray, «Q. J. Exp. Psycho!», 6, 1954, 86). Внимание может, однако, переключиться от одной вещи к другой за период около 0,2 секунды. Фактически общеизвестно, что внимание всегда рассеяно, даже если оно имеет дело только с единственным стимулом, что можно легко продемонстрировать хорошо известным экспериментом с узнаванием неоднозначных или обратимых диаграмм, например лестницы Шредера. (Эти автоматические флуктуации, которые заставляют нас видеть попеременно различные конфигурации, служат доказательством участия в любом восприятии нечувственных психических факторов.) Относительно нашей моторной деятельности справедливо, что мы можем иногда объединить два действия в отдельное исполнение, например квалифицированно играя двумя руками на пианино. Но, когда нам говорят, что Юлий Цезарь был способен диктовать несколько писем «одновременно», каждое отдельному писцу, мы понимаем, что он должен был ухищряться так и этак — хотя даже то, что он делал, не означало никакого подвига!

одну ночь¹. Подобный эффект может вызывать и *Can-nabis indica*², а также *mescaline*, который препятствует ферментам мозга надлежащим образом использовать глюкозу, хотя обычно не нарушает способности к тщательному наблюдению и регистрации. Похожие иллюзии могут происходить во сне. Знаменитым примером яркого выражения подобных иллюзий был сон маркиза де Лавалетта, приснившийся ему, когда он во время Французской революции находился в тюрьме. Сон продолжался несколько мгновений, когда пробило полночь и сменялся караул у его двери. «Я был на улице Сент-Оноре. Было темно, и улицы были пустынные, но вскоре стал слышен неразборчивый приглушенный шум. Вдруг отряд всадников появился в конце улицы... ужасные существа, несущие факелы... Пять часов мчались они передо мной полным галопом. После них проследовало огромное число пушечных лафетов, нагруженных мертвыми телами...»³

В своем обсуждении нашего переживания времени как первоначально основанного на актах внимания к последовательности различных представлений Локк полагал — неправильно, как мы теперь считаем, — что мы не имеем никакого другого восприятия длительности, кроме как при размышлении над потоком идей, которые мы наблюдаем как следующие друг за другом в наших умах. И Локк удивлялся, «что наши идеи во время нашего бодрствования следуют в нашем уме одна за другой на определенном расстоянии, подобно изображениям на внутренней стороне фонаря, вращающегося от тепла свечи»⁴. Локк считал, что, даже когда мы бодрствуем, «степень быстроты» потока идей в уме может быть «иногда быстрее и иногда медленнее»; но он думал, что

¹ T. de Quincey, *The Opium Eater*, London, 1927, p. 114—115.

² Согласно отчету Дж. Редвуда Андерсона о его переживаниях под действием этого наркотика (loc. cit), «первый эффект — и так продолжалось в каждом последующем случае — заключался в изменении оценки времени. Время так чрезвычайно удлинилось, что оно практически перестало существовать... Но это оцепенение касалось только физических событий, например моих собственных движений и движений других людей; оно не касалось процессов мысли, которые, казалось, весьма ускорились... Я думал так же быстро, как во сне, но с остротой и логической последовательностью, очень редко встречающейся в снах».

³ M. Sturt, *The Psychology of Time*, London, 1925, p. 110.

⁴ Дж. Локк, цит. соч., глр. 200

имеются «определенные границы» скорости их следования, «вне которых они не могут ни задерживаться, ни спешить». Такая, как она есть, наша оценка времени контролируется также другими психическими факторами, особенно нашим чувством здравого смысла. Особенно это очевидно в случае сна, подобного сну маркиза де Лавалетта, где мы являемся жертвами иллюзии; ибо, по-видимому, невероятно, что временные эффекты в таком сне обусловлены громадным числом психических событий, происшедших в продолжение только нескольких секунд физического времени. Напротив, представляется, что иллюзия огромного интервала времени обусловлена ошибкой здравого смысла. Как указывает мисс Стёрт, которая подробно изучила этот вопрос, «сны сняты тогда, когда физически мы находимся в покое, и они обладают живостью галлюцинации. Нам представляется, что мы

¹ Во второй половине прошлого века Мах и другие с помощью эксперимента пытались открыть, существует ли *психологическая единица времени*, которая всегда присутствует в уме как стандарт. В итоге они пришли к выводу, что имеется определенная «индифферентность» времени с таким свойством, что более короткие длительности в среднем переоцениваются, а более длинные недооцениваются. Однако не было общего согласия относительно точной величины этой индифферентности времени, хотя она, по-видимому, имеет порядок три четверти секунды. Проблема была разъяснена в 1930 году Г. Вудроу (H. Woodrow, «J. Exp. Psychol.», 13, 1930, 473—499), который показал, что этой величине нельзя приписать никакого абсолютного значения, так как индивидуальные различия слишком велики и подвержены влиянию интеллектуальных установок и т. д. В экспериментах Вудроу среднее значение получалось около 0,6 секунды. Относительно нашей тенденции недооценивать более длинные интервалы времени недавно Марианной Франкенхойзер (Marianne Frankenhäuser, «Scand. J. Psychol.», 1, 1960, 1—6) было найдено, что этот эффект усиливается при центробежном ускорении человека в центрифуге. Например, если испытуемому предложено оценить 20 секунд и если при отсутствии ускорения он нажимает на гудок приблизительно через 16 секунд, то при ускорении в 3 g он стремится нажать гудок уже через 13 секунд. Д-р Франкенхойзер предполагает, что, возможно, мы используем нашу память о предшествующем интервале физического времени как субъективную единицу и что это «сжимание» больше, когда мы испытываем ускорение, чем когда мы не испытываем его. Следовательно, мы скоро привыкаем думать, что физическое время протекает более быстро, чем в действительности, и этот эффект увеличивается при ускорении. Возможно, что это усиление эффекта некоторым образом связано с ухудшением снабжения мозга кислородом при центробежном ускорении или действии силы тя- жести.

действуем, и, однако, не совершается никакого движения. Во время бодрствования необходимость физического движения непрерывно тормозит скорость наших мыслей... Во сне скорость не нарушающейся действием (actionless) мысли сопровождается верой, что мы действуем, и поэтому оценка количества времени, занимаемого рядом событий, ошибочна¹.

Преемники Локка, Беркли и Юм, рассматривая индивидуальное время просто в виде последовательности идей в уме, заключали, что оно должно быть дискретным и тем самым не может соответствовать непрерывной временной переменной ньютоновской физики. Если мы рассматриваем наше переживание времени как зависимое от актов внимания к последовательным представлениям, вынуждены ли мы также принять подобное заключение и рассматривать непрерывность как вторичный результат? По-видимому, это не будет адекватным описанием и объяснением того, что есть на самом деле. Джеймс Уорд при глубоком исследовании проблемы полагает, что наше восприятие периода времени нельзя строго сравнивать с дискретным рядом величин больше, чем с рядом бесконечно малых. Ибо, даже если наиболее яркие впечатления дискретны, отсюда не следует, что вся область сознания изменяется прерывисто. Внимание не обязательно движется скачками с одного объекта на другой, но скорее «посредством чередующихся рассеяния и концентрации, подобно улитке, которая никогда не отрывается от поверхности при движении по ней. Мы имеем ясное представление, различая *A* или *B*, когда внимание сконцентрировано; когда же внимание рассеивается, мы имеем только смутные и более или менее перепутанные представления. В некоторой степени такие перепутанные представления имеются всегда, и они заполняют сравнительно пустой интервал в то время, когда внимание не сфокусировано»².

Проблема воссоздания временного порядка на основе перемещений нашего внимания от одного представления к другому связана с рядом трудностей³. Мы уже под-

черкивали различие между последовательностью в мысли и мыслью о последовательности. Наше сознательное определение факта, что одно событие следует за другим, отличается от нашего осознания одного из двух событий как отдельного. Если два события представляются происходящими последовательно, тогда, «как это ни парадоксально, они должны также мыслиться одновременно. К сожалению, и память, и прослеживание в уме перемещений нашего внимания могут служить ненадежными гидами, чтобы упорядочить события так, как они действительно происходили. Пьерон обратил внимание на этот резкий контраст между ненадежностью нашей способности сознательной психологической оценки времени и психологической точностью, очевидной при установлении органических ритмов в поведении животных»¹. Еще удивительнее, что больной при гипнотическом трансе обладает, как обнаружилось, значительно более точным чувством времени, чем в нормальном состоянии. Это не только подтверждает существование в нас непрерывных органических и психических ритмов, но также показывает, что при нормальном функционировании сознания все такие ритмы затемняются быстротечными внешними событиями.

У детей развитие сознательного чувства времени происходит на более поздней и более сложной стадии, чем развитие пространственного чувства, вероятно, из-за того, что оно требует большей степени пространственного воображения. Вначале каждый временной ряд

последовательности обусловлено смещением внимания, на том основании, что, с максимальным допуском, само смещение требует по меньшей мере 0,2 секунды, тогда как кратчайшее возможное время, за которое происходит восприятие последовательности, много меньше и в случае различения последовательных электрических искр представляет, например, только 2 миллисекунды (0,002 секунды). Спирмэн полагает, что наше восприятие одновременности (powness) и последовательности «как раз являются элементарными случаями, соответствующими осознаваемым характеристикам опыта и производным отношениям между этими характеристиками» — другими словами, они обусловлены непосредственной интуицией. Хотя Спирмэн был прав, возражая против необходимости «внимания» как посредника в нашем восприятии времени, он прошел мимо того факта, что внимание часто сильно влияет на наше сознательное осмысление временной последовательности.

¹ Н. Piéron, *The Sensations; Their Functions, Processes and Mechanisms*, London, 1952, p. 290,

¹ M. Stuart, op. cit., p. 117—118.

^{*} J. Ward, *Psychological Principles*, Cambridge, 1918, p. 220.

³ Например, Спирмэн (C. Spearman, *The Nature of Intelligence and the Principles of Cognition*, London, 1923, p. 318) возражал против идеи, согласно которой наше восприятие временной

в жизни детей изолирован и чисто эгоцентричен: он начинается с желания или усилия и кончается успехом или неудачей. В возрасте восемнадцати месяцев часто может быть схвачен смысл «теперь», а в два года смысл «скоро». Как правило, в возрасте трех лет ребенок может понимать «не сегодня» и правильно использовать термины «завтра» и «вчера»¹. Постепенно временные последовательности начинают рассматриваться как относящиеся к самим внешним событиям, а не только к движениям и действиям самого ребенка, хотя время еще остается экстраполяцией субъективной длительности, свойственной его деятельности². На значительно более поздней стадии, когда время больше не ассоциируется с собственной деятельностью ребенка, оно все же остается привязанным к частным объектам или движениям и подчиненным пространству. Пиаже нашел, что если ребенок в возрасте 4 или 5 лет видит два движущихся объекта, выходящих из одной и той же точки и одновременно приходящих в две различные конечные точки, QH будет признавать одновременность выхода, но оспаривать одновременность прибытия, даже если она очевидна. «Он наблюдает, что один из объектов прекратил двигаться, когда другой остановился, но он отказывается допустить, что оба движения прекратились «в одно и то же время», так как для него просто не имеется никакого времени, общего различным скоростям. Точно так же ребенок представляет «до» и «после» в терминах не временной, а пространственной последовательности»³. Пиаже делает весьма существенное указание, что даже когда эти трудности преодолеваются, *тем не менее все же существует систематическая неспособность сочетать локальные времена в одно единое время*. Даже когда ребенок 6 или 7 лет наблюдает, что два объема воды, текущей с одинаковой скоростью в две бутылки различной формы, начинают и прекращают течь оба одновременно, он будет отрицать, что вода наполняет одну бутылку за такое же время,

¹ A Gesell, F. L. 11 g, *Infant and Child in the Culture of Today*, London, 1943, p. 24.

* J Piaget, *The Child's Construction of Reality*, London, 1955, ch. IV.

» J Piaget, *The Psychology of Intelligence*, London, 1950, p. 136.

как и другую. Только в возрасте около 8 лет отношения временного порядка (до и после) координируются с отношениями длительности таким образом, что возникает идея времени, общего различным движениям с разными скоростями¹.

Недавние исследования над взрослыми обнаружили, что субъективные суждения о длительности воздействуют на одновременные пространственные суждения и в свою очередь подвергаются воздействию с их стороны. Например, так называемый гаг/-эффект показывает, что суждения о пространственных расстояниях зависят от времени, требующегося для их прохождения. Если отметить на коже три точки и интервал времени между раздражением второй и третьей точек больше, чем интервал между раздражением первой и второй, субъект будет считать расстояние между второй и третьей больше, чем между первой и второй, хотя в действительности оно может быть равным или меньшим; подобный результат получался в случае зрительных явлений². И наоборот, показано, что суждения о временной длительности подвержены воздействию связанных с ними пространственных компонент (/сап/га-эффект). Например, если перед человеком поставить три источника света, которые зажигаются друг за другом, и попросить человека так отрегулировать средний источник, чтобы он зажегся по времени как раз посередине между первым и третьим, то человек будет стремиться отвести *более короткое* время интервалу между парой источников, которые находятся на *большем* расстоянии друг от друга³. Подобные результаты открыты также в слуховых явлениях. Если субъект слышит два разных непрерывных тона и его просят придать равную длительность каждому, он будет стремиться отвести более короткую длительность тону большей высоты. Явления такого рода указывают, что нашу сознательную практику нельзя полностью проанализировать с помощью независимых

¹ J. Piaget, op. cit., p. 145.

² H. Nelson and S. M. King, «J. Exp. PsychoU, 14, 1931, 202.

³ J. Cohen, C. E. M. Hansel and I. D. Sylvester, «Nature», 172, 1953, 901; 174, 1954, 642.

данных чувств и что ее различные аспекты взаимосвязаны, в частности пространственные и временные компоненты взаимозависимы¹

7. ПСИХИЧЕСКОЕ НАСТОЯЩЕЕ

Мы уже видели, как мыслители вроде Маха, отвергая теорию Канта, утверждают, что время является ощущением, а мыслители вроде Жана считают, что оно представляет собой интеллектуальную конструкцию. Хотя мы поддержали второй взгляд, мы должны теперь рассмотреть эту проблему дальше. Но сначала нам необходимо отметить тот факт, что прямое восприятие изменения, хотя оно определенно обнаруживается в виде последовательности, требует одновременного присутствия при нашем осознании событий в другой фазе представления. Комбинация одновременности и последовательности в нашем восприятии означает, что время нашего сознательного опыта больше похоже на движущуюся линию, чем на движущуюся точку. На справедливость такого сравнения было указано в 1882 году в анонимной книге, которая, как мы теперь знаем, была написана Клэем². «Отношение опыта ко времени, — писал он, — еще не было глубоко изучено. Объекты опыта даны как пребывающие в настоящем, но часть времени, относящаяся к данной величине, совершенно отлична от того, что философия называет Настоящим». Таким образом, все ноты

¹ Эта взаимозависимость обнаруживается также при анализе зрительного восприятия. Согласно Р. У. Сперри (R. W. Sperry, «American Scientist», 40, 1952, 305), восприятие одновременных пространственных отношений обычно зависит от *временной* организации процессов в мозге. Таким образом, если мы желаем понять нервный механизм, участвующий в зрительном восприятии, скажем, треугольника, Сперри полагает, что мы должны изображать треугольник, как если бы он постепенно строился из точек и черт, появляющихся в мозге друг за другом так, что восприятие треугольника как целого происходит непрерывно. Это совпадает с взглядом, защищаемым Д. О. Хеббом (D. O. Hebb, *The Organization of Behavior*, New York, 1949, p. 100), что «стабильность восприятия заключается не просто в устойчивом характере деятельности мозга, но в тенденции фаз нерегулярного цикла повторяться через короткое время».

² E. R. Clay, *The Alternative: A Study in Psychology*, London, 1882, p. 167—168.

музыкальных тактов кажутся слушателю содержащимися в настоящем, точно так же как весь пространственный путь, прочерченный метеором по небу, представляется наблюдателю данным сразу. Клэй назвал этот конечный отрезок времени, который включен в наш непосредственный опыт, *кажущимся* (*Specious*) *настоящим*. Уильям Джемс предположил, что, так как каждый стимул нервной системы оставляет некоторую скрытую активность, которая исчезает только постепенно, мы переживаем в каждый момент мозговые процессы» которые перекрывают друг друга, и благодаря множеству таких перекрываний образуется ощущение длительности». Джемс с энтузиазмом принял термин Клэя, исходя из того, что «истинное настоящее» не должно обладать длительностью, а должно представлять момент времени, отчетливо разделяющий прошлое от будущего и совершенно отличный как от того, так и от другого. Это «истинное настоящее» будет обсуждено в следующей главе; оно является математической идеализацией, подобно безразмерной точке в геометрии. Следовательно, сам термин «кажущееся настоящее» довольно правдоподобен, и он будет предпочтительнее использоваться вместо такого более нейтрального термина, как «психическое настоящее».

Область и содержание психического настоящего зависят от фокусировки нашего внимания, но оно может охватывать как первичные образы памяти, так и непосредственные предчувствия (*expectations*) или предощущения (*pre-percepts*). Классический зрительный пример предощущения имеет место, когда хирург видит кровь пациента еще до того, как скальпель разрежет его кожу. Такой же яркий пример первичных образов памяти, которые образуют часть психического настоящего, был предложен Бертраном Расселом, утверждавшим, что мы иногда замечаем, будто часы уже пробили, хотя мы не отмечали этого, когда они били². Мандл³ критиковал этот пример на том основании, что наше сознательное осмысление звуков часов может быть вызвано нашим восприятием шума, который еще не исчез благодаря

¹ У. Джемс, *Психология*, СПб., 1905, стр. 241.

* B. Russell, *Analysis of Mind*, London, 1921, p. 174.

³ C. W. Mundle, «Mind», 63, 1954, 42.

непрерывной вибрации механизма боя, но он также утверждает, что в других случаях мы, по-видимому, способны «инспектировать» звуки, которые уже отзвучали. Мандл описывает, как его иногда во время засыпания беспокоит короткая серия резких ударов с соседней железной дороги и что он сам, как оказалось, обращает внимание на такие звуки после и только после того, как они уже отзвучали, звуки все еще кажутся «непосредственно присутствующими» в том смысле, что он мог сосчитать их и определить их относительную длительность.

Часто обсуждаемый зрительный пример — движение секундной стрелки часов. По-видимому, мы наблюдаем это движение таким образом, что мы не видим движение минутной или часовой стрелки. Проф. Броуд¹ утверждает, что видение движения секундной стрелки совершенно отлично от видения того, насколько *продвинулась* часовая стрелка, так как в одном случае мы имеем дело с «тем, что происходит в одной чувственной области», тогда как в другом мы имеем дело со сравнением между двумя различными чувственными областями. Аргумент Броуда, гласящий, что движение определенной длительности буквально воспринимается как *целое*, вызвал возражения проф. Пэйтона, который утверждает, что «если бы в некоторый момент я мог ощущать несколько различных положений секундной стрелки, то эти различные положения воспринимались бы как имеющие место все в один и тот же момент. Другими словами, то, что я воспринимал бы, было бы не движением, но неподвижным веером, занимающим определенную площадь»². Тем не менее в случае падающей звезды мы *осознаем*, что одна часть движения более ранняя, чем другая, хотя все движение охватывается в пределах психического настоящего. Рассел утверждает, что если бы мы не сознавали этого, мы не знали бы, произошло ли движение от *L* к *S* или от *B* к *A*³.

Хотя Джемс говорил о качественном постоянстве психического настоящего, он понимал, что оно не является интервалом фиксированной длительности, но представляет собой переменный промежуток времени со

¹ C. D. Broad, *Scientific Thought*, London, 1923, p. 351.

* H. J. Paton, *In Defence of Reason*, London, 1951, p. 107.

³ Б. Рассел, *Человеческое познание*, Издательство иностранной литературы, 1957, стр. 243.

своим содержанием, в котором одна часть подразумевалась более ранней и другая более поздней. Термин «кажущееся настоящее», используемый психологами, к сожалению, несколько двусмыслен. В самом широком смысле его можно рассматривать как обозначение длительности временного опыта, совместимого с определенной последующей унификацией. В более узком смысле его можно применить к интервалу времени, в течение которого события не наблюдаются как более ранние или более поздние, но присутствуют как бы одновременно. Джемс утверждал, что в самом широком смысле психическое (или кажущееся) настоящее может охватывать минуту, но Пьерон⁴ определил приблизительно в пять или шесть секунд предел времени, в течение которого серия последовательных событий может сохраниться, «подобно воде в ладонях», в акте единого понимания⁵.

Если мы воспринимаем, что два события происходят друг за другом, то должно иметься минимальное разделение между ними. И обратно, это минимальное разделение можно рассматривать как меру разрешимости (acuity) времени. Оно зависит от особого сложного сенсорного механизма и имеет наибольшую величину в нашей слуховой практике. Обычно наикратчайшая воспринимаемая единица времени, или «точка времени», имеет длительность около одной десятой секунды для зрения и около одной сотой секунды для слуха и осязания, наименьший предел при чрезвычайных условиях составляет около двух миллисекунд для слуха⁶. Разница зависит

⁴ H. Piéron, *op. cit.*, p. 292.

⁵ Обычно это время не может быть более секунды, однако Дж. Холдэйн в обсуждении танцев пчел (J. V. S. Haldane, «Diogenes», 4, 1953, 15) считает допустимым, что в сознании пчелы кажущееся настоящее может продолжаться пять или десять минут. «Если это так, то танец и полет одновременно присутствуют в ее сознании, как вся речевая или музыкальная фраза одновременно присутствует в человеческом уме. Глаза пчел и другие органы чувств воспринимают настолько меньше информации за секунду, чем наши, что значительно большее растяжение времени не подразумевает такого же богатого опыта, как наш. Такую спекуляцию несомненно нельзя проверить в настоящее время. Возможно, она никогда не может быть проверена».

⁶ Кратчайшее время, за которое возможно *сознательное* восприятие звуковой последовательности (2 миллисекунды), составляет одну десятую кратчайшего времени визуальной последовательности (хотя интервал времени, необходимый для различения двух

от природы соответствующих сенсорных процессов. Как общее правило, мы можем грубо взять 50 миллисекунд как *психический момент*, представляющий собой интервал между различимыми восприятиями. Это согласуется со скоростью прочтения слова при беглом чтении, которая составляет около $\frac{1}{10}$ секунды. С другой стороны, единица времени серийных нейрофизиологических процессов (синаптическая задержка плюс время прохождения) имеет порядок миллисекунды Ч

Воспринимаемые события рассматриваются как одновременные, если они относятся к одному и тому же психическому настоящему и не могут быть переставлены во времени. В случае событий, действующих на две различные рецепторные системы, такие, как зрение и слух, два физически одновременных события могут быть восприняты как последовательные, а два физически последовательных события могут быть восприняты как одновременные или даже в обратном порядке. Эти ошибки частично обусловлены различными физиологическими задержками между раздражением рецепторного органа и результирующим представлением и частично субъективными факторами. Одновременность однородных ощу-

последовательных вспышек света, можно укоротить с помощью прямого раздражения особого типа нервного образования в подкорковой области мозга, известной как «ретикулярная формация» (см. Н. Н. Jasper et al., *Reticular Formation of the Brain*, London, 1957). При визуальном рассмотрении объекта в течение около 10 миллисекунд наблюдатель осмысленно замечает что-то, но обычно не может сказать, что это. Что касается *подсознательного* различения звуков, то наши способности изумительны. Эксперименты показали (O. Klemm, «Arch. Gesamte Psych.», 38, 1919, 71—114; E. M. v. Hornbostel und M. Wertheimer, «Sitz. Preus. Akad. Wiss.», Berlin, 1920, 388—396), что наше определение локализации источника звука обеспечивается благодаря нашему восприятию бинауральной разницы во времени, а бинауральная разница в интенсивности воспринимается значительно слабее. Разница во времени наибольшая, когда звук раздается около одного уха, но даже тогда она меньше миллисекунды. Когда звук возникает в трех градусах от средней плоскости головы, разница во времени составляет только около одной сороковой части миллисекунды. Тем не менее она все же обеспечивает эффективное определение. Бинауральная разница во времени, конечно, должна быть «декодирована», прежде чем мы можем использовать ее для локации. Это декодирование заключается прежде всего в рефлекторном моторном процессе — быстром инстинктивном повороте головы на источник звука.

¹ См. стр. 127 и след.

щений устанавливается, таким образом, из неопределенности их наблюдаемого временного порядка.

Систематическое изучение этого вопроса, представляющего важное практическое значение для доверия, которое мы имеем к нашим чувствам как инструментам наблюдения, возникло в астрономии. В 1796 году астроном Ройал Маскелин уволил своего ассистента Киннебрука из-за того, что последний, казалось, был неточен в своих наблюдениях звездных смещений. Приблизительно двадцатью годами позднее Бесселю пришлось в го-лову, что разница между наблюдениями двух астрономов могла быть обусловлена личными особенностями. В настоящее время общепризнано, что даже лучшие наблюдатели обычно отмечают прохождение звезды через фиксированное перекрестие астрономического инструмента немного раньше или немного позже на величину, которая варьирует от одного наблюдателя к другому и называется «личным уравнением».

Вообще говоря, нам трудно расположить ощущение одного вида между двумя ощущениями другого вида в тесной последовательности. Если бы, однако, мы воспринимали время непосредственно, то природа ощущений, ответственных за соответствующий интервал, не должна была бы иметь никакого особого значения. Другими словами, трудность расположения была бы такой же большой, если бы все три ощущения были одного и того же вида. В 1952 году П. Фрэйсс проверил это заключение и статистически нашел, что трудность расположения была *меньше* в случае однородности¹. Поэтому он сделал вывод, что у нас нет никакого специфического чувства времени. Другими словами, мы воспринимаем время не непосредственно, но только в виде конкретных последовательностей и ритмов. Таким образом, это не само время, а то, что происходит во времени и вызывает действие. Время основано на ритмах, а не ритмы на времени. Следовательно, индивидуальное время не является ни необходимым условием нашего опыта, ни простым ощущением, но умственной конструкцией. Способность синтезировать в единый временной порядок переживания, связанные с нашими различными чувствами,

¹ P. Fraisse, «L'Année Psychologique», 52, 1952, 39—46.

представляет интеллектуальное достижение, являющееся поздним продуктом человеческой эволюции.

Анализируя идею настоящего, Гюйо подчеркивал связь между временем и действием. Бергсон шел дальше и полагал, что надо не только действовать, но надо осознавать действие, то есть надо осознавать определенное усилие; Жане считал, что и этого недостаточно и что настоящее надо рассматривать как интеллектуальный акт, объединяющий слово с делом: оно должно рассматриваться как «рассказ о действии, который мы сами себе рассказываем в продолжение действия»¹. Жане привел убедительные доказательства своего вывода из подробного анализа эксцентричной формы амнезии, известной как синдром Корсакова. При этой болезни больной кажется совершенно нормальным, за исключением того, что он никогда не говорит о настоящем и страдает запаздыванием памяти. Больной не способен сознательно размышлять о настоящем, а только о не слишком недавнем прошлом. Например, когда пациентка Шарко, г-жа Д., у которой этот синдром развился после нескольких шоков и истерий, была сильно укушена собакой, то некоторое время спустя она говорила, что она чувствует боль в ноге, но не знала, что это было. Всякий раз, когда Шарко спрашивал ее, она отвечала разумно, но, как, только она поворачивалась к нему спиной, он переставал существовать для нее. Тем не менее у нее должна была существовать память о недавнем прошлом, ибо во сне она говорила о событиях того же дня и кричала на собаку, которая укусила ее. Жане открыл, что для г-жи Д., которую он тщательно изучал несколько лет, требовалось по меньшей мере восемь дней, чтобы упорядочить наблюдение. Жане сделал вывод, что «упорядочение настоящего» зависит от нашей непосредственной памяти.

Таким образом, наше психическое настоящее, бывшее до сих пор простым субстратом прямого ощущения, должно рассматриваться как продукт со сложным строением. Оно внутренне соотносится с нашим прошлым, так как зависит от нашей непосредственной памяти, но оно также определяет наше отношение к не-

¹ P. Janet, *Involution de la Memoire et de la Notion du Temps*, Paris, 1928, p. 309.

посредственному будущему. Неопределенность, которая, по-видимому, характеризует его протяжение во времени, присуща его природе. «Природа настоящего, — писал Жане, — препятствует точному определению его длительности»¹. Ибо, говоря словами Уайтхеда, «временной промежуток непосредственной длительности осознанного чувства совершенно неопределен и зависит от индивидуальных свойств воспринимающего субъекта... То, что мы воспринимаем как настоящее, является яркой границей памяти, оттененной предчувствием»².

8. ПАМЯТЬ И ПОНЯТИЕ ПРОШЛОГО

Хотя осознание настоящего представляет наиболее фундаментальный временной опыт, его отношение к прошлому может быть запутанным, как было показано Жане³ при обсуждении любопытного психологического явления *dejà vu* (уже бывшего). Оно заключается в ощущении ложной знакомости, которым иногда характеризуется вся данная ситуация, причем мы автоматически чувствуем, будто мы уже давно испытывали то, что происходит в данный момент, а также то, что еще произойдет, хотя здравый смысл говорит нам о невозможности этого⁴. Это ложное ощущение «прошлости»

¹ P. Janet, *op. cit.* p. 313.

² A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, Cambridge, p. 72,73.

³ P. Janet, *op. cit.*, p. 321—341.

⁴ Хорошее описание *dejà vu* дал Диккенс в «Давиде Копперфильде», глава XXXIX: «Мы все испытываем иногда посещающее нас чувство, будто то, что мы говорим и делаем, уже говорилось и делалось когда-то давно — как будто в смутном далеке нас окружали те же лица, вещи и обстоятельства, как будто мы отлично знаем, что произойдет затем, словно мы неожиданно вспомнили ЭТО!»

Явление *dejà vu* могло послужить одним из психологических источников, который привел к возникновению доктрины метемпсихоза, проповедовавшейся пифагорейцами (и другими). Уилдер Пенфилд предположил, что это явление можно, по-видимому, объяснить нарушением доминантной височной доли, и точное совпадение восприятия обусловлено использованием другой височной доли для интерпретации чувственных восприятий наблюдателя. Согласно У. Ритчи Расселу (W. Ritchie Russell, *Brain, Memory and Learning: a Neurologist's View*, Oxford, 1959, p. 37), гиппокамп связан, вероятно, с любым возбуждением в височной доле, которое

связано с чувством неприсутствия («оно представляет ощущение отсутствия настоящего, которым характеризуется эта болезнь»). По-видимому, в случае *deja vu* все, что происходит, рассматривается как знакомое. Возможно, что мы бессознательно предвосхищаем то, что потом осознаем, и в результате сознательное восприятие является в действительности воспоминанием того, что мы подсознательно регистрировали в предшествующий момент¹. Как бы то ни было, явление ясно показывает как семантическую корреляцию «знакомого» с «прошлым», так и решающую роль памяти в нашем воссоздании минувшего.

Связь между знакомостью и памятью была подчеркнута Бертраном Расселом в его новой формулировке теории, разработанной Юмом. (При поисках существенной характеристики, благодаря которой память отличается от воображения, Юм пришел к выводу, что процесс вспоминания осуществляется с помощью образов ума «высшей силы и живости»², но такое решение давно рассматривается как совершенно недостаточное и часто как ложное.) Согласно Расселу, образы памяти отличаются от других образов в уме чувством *знакомости*, и как раз это чувство обуславливает ощущение «прошлого»³, хотя такое решение, очевидно, лучше решения Юма, оно вызывает сомнение из-за своей тавтологичности, так как можно утверждать, что знакомость сама предполагает память. Но Рассел указал, что знакомость и память являются синонимами. Следовательно, возра-

вызывает *deja vu*. Система гиппокампа (два удлинённых выступа на дне каждого бокового желудочка мозга), по-видимому, играет существенную роль, когда мы распознаем знакомое, ибо, как было сообщено У. Б. Сквиллом и Б. Милнером (W. B. Scoville and Milner, «J. Neurol., Neurosurg., Psychiat.», 20, 1957, I), больные, у которых гиппокамп удаляли в обоих полушариях, забывали события повседневной жизни сразу же после того, как они происходили, хотя они ясно помнили детали своего детства.

Eva Cassirer, *The Concept of Time: An Investigation into the Time of Psychology with Special Reference to Memory and a Comparison with the Time of Physics*, University of London, Ph. D. Thesis, 1957.

Д. Юм, *Трактат о человеческой природе*, кн. 1: Об уме, Юрьев, 1906, стр. 83.

³ В. Russell, *The Analysis of Mind*, 1921, Lecture IX, p. 157 и след.

жение отпадает. Тем не менее теория Рассела оставляет открытыми два важных вопроса:

1) Какую гарантию имеем мы для надежности памяти?

2) Является ли память необходимой и достаточной для знания прошлого?

Трудность ответа на первый вопрос заключается в том, что надо избежать *petitio principii*, ибо любая проверка надежности памяти, по-видимому, не обошлась бы без помощи памяти. Тонкий анализ обоснованности самодостоверной памяти дан Харродом¹, который утверждает, что положение об информативности памяти является гипотезой, «которая должна иметь право на существование наряду с другими гипотезами». Харрод считает, однако, что эта гипотеза может быть «верифицируема», то есть проверена без обращения к интуиции, если мы согласимся а priori принять принцип индукции в форме условного высказывания, что *если* некоторые вещи остаются неизменными некоторое время, то они, *вероятно*, останутся неизменными еще некоторое время. Харрод признал, что он «с неохотой» ввел этот априорный принцип², но утверждал, что если бы этот принцип был принят, то память могла бы быть обоснована «осуществлением предсказаний». Чтобы оправдать веру в достоверность памяти, *не привлекая памяти*, он обратился к предсказаниям, которые делаются и выполняются в так называемом достоверном настоящем.

Остроумный аргумент Харрода был подвергнут критике Фюрлонгом³, который возражал против привлечения индуктивного принципа, а также против приписывания решающей роли достоверному настоящему (хотя он сам вернулся к этой концепции в своей собственной теории!). Вместо этого Фюрлонг считает, что мы не можем удостовериться в непогрешимости памяти. Все,

¹ Н. Р. Ф. Харрод, «Mind», 61, 1942, 47—68.

² Однако Харрод осторожно отметил (стр. 62), что ему *не* нужен *общий* принцип однородности природы, а нужна лишь «однородность, ограниченная в пространстве и времени и сферой применения», и что его утверждения справедливы только с вероятностью, а не с достоверностью.

³ Е. J. Furlong, *A Study in Memory*, London, 1951, p. 58 и след.

что мы можем, и все, в чем мы нуждаемся, состоит в том, чтобы объяснить нашу веру в ее универсальную надежность при обращении к опыту. Фактически мы постоянно обнаруживаем, что наши воспоминания не дают надежных сведений, хотя мы часто должны обращаться к подтверждающим данным из воспоминаний других людей так же, как и из наших собственных. Различие между воспоминанием и воображением является поэтому скорее *логическим*, чем психологическим. Такая точка зрения была ясно выражена Пинтерсом: «Критерий того, вспоминает или воображает человек, является не субъективным критерием уже прошедшего, сопровождающего воображение, но доводом, который подтверждает или опровергает то, что утверждается об отношении между осмысливаемой ситуацией и участием мыслителя в действительных событиях. И для установления того, справедливо или нет такое отношение, то есть имеем ли мы дело скорее с воспоминанием, чем с воображением, личное убеждение человека является хорошим руководителем, но ненадежным критерием»¹.

Возвращаясь ко второму вопросу, мы находим, что философы часто пытались ответить на него таким образом, будто в памяти мы прямо знакомимся с прошлым². Эта гипотеза, помимо своей неправдоподобности (которая одна не будет достаточной причиной для ее отбрасывания), не в состоянии объяснить «прошлое» прошлых событий, тот факт, что они когда-то *были*, но в настоящий момент их *нет*. В действительности эта гипотеза внутренне противоречива вследствие того, что мы не можем одновременно занимать два различных места. С другой стороны, философы, отвергающие эту гипотезу и утверждающие, что в памяти мы только *воображаем* события, сталкиваются с проблемой, что это воображение мало говорит нам о временном контексте. Вместо этого они обычно обращаются к нашему сознательному осмыслению *последовательности* событий в духовной данности. Они полагают, что это обуславливает наше первичное понятие прошлости, которое мы затем постепенно учимся расширять во всех напра-

¹ R. P e t e r s, Hobbes, London, 1956, p. 113.

² Например, Сэмюэл Александер: «Объект присутствует со мной как прошлое» (Samuel Alexander, Space, Time and Deity, London, 1920, vol. 1, p. 113),

влениях. Действительно, Фюрлонг утверждает, что дети развивают свою память как раз таким образом. «Сначала они имеют совсем малую способность воспоминания. Даже в возрасте двух лет они могут быть совершенно неспособными вспомнить, где они спрятали игрушку несколько часов назад. В три года они могут сказать, что произошло вчера, но другие прошлые события вспоминаются как происшедшие «давным-давно». Узнавание дней недели и месяцев года является делом еще более позднего возраста»¹.

Ева Кассирер предполагает, что понятия временной последовательности и «прошлого как вспоминаемого» должны рассматриваться как альтернативные описания одного и того же. Кассирер утверждает, что, если мы сосредоточим внимание на *L* в течение короткого интервала времени, в конце которого мы получим *B*, мы можем сказать, что мы получаем *B*, вспоминая *A*, так как или *A* является запаздывающим ощущением (не по образу), или мысль, на которой фиксируется наше внимание, *удерживается* в уме. «В момент появления *B* наше внимание готово переключиться на него от *L*; и небольшое усилие, способное удержать наше внимание на *A* и одновременно обратить внимание на *B* (в течение времени появления *B* наше внимание действительно разделено), можно назвать «усилием памяти». Мы считаем эту часть нашего квазисоприсутствующего опыта, которая связана с усилием памяти, более ранней из этих двух событий. Это различие, которое мы признали как таковое, смещая внимание, проявляется как последовательность двух событий в пределах, или на границах, некоторого интервала внимания, то есть в пределах «кажущегося настоящего». Понятие последовательности и понятие «прошлого как вспоминаемого» появляются при одной и той же ситуации и являются альтернативными описаниями одного и того же»².

Связь восприятия с «прошлым» была подчеркнута Бергсоном в его знаменитой книге «Материя и память»³. Он утверждал: «Если же вы будете рассматривать настоящее, конкретно и реально переживаемое сознанием, то можно сказать, что это настоящее в значительной

¹ E. J. F u r l o n g, op. cit., p. 96.

² E v a C a s s i r e r, op. cit., p. 39 и след.

своей части состоит из непосредственного прошлого. В ту долю секунды, которую длится возможно кратчайшее восприятие света, успеют свершиться миллиарды световых колебаний, и промежутки, отделяющий первое из них от последнего, разделен на колоссальное число частей. Значит, ваше восприятие, каким бы мгновенным оно ни было, состоит из неисчислимого множества восстановленных памятью элементов, и, по правде говоря, всякое восприятие есть уже воспоминание. *На практике мы воспринимаем только прошлое*, а чисто настоящее есть просто неуловимая грань в развитии прошлого, въедающегося в будущее¹. Рассел справедливо возражал, что бергсоновское определение нашего прошлого как «того, что уже больше не действует»², тавтологично. Рассел полагает, что «вся теория длительности и времени Бергсона основывается на элементарном смешении настоящих явлений воспоминаний с прошлыми событиями, которые вспоминаются»³ и в действительности совершенно упускает время!⁴ С его точки зрения, это является следствием различия между восприятием и воспоминанием — оба являются фактами настоящего, а не следствием различия между настоящим и прошлым, как полагал Бергсон.

Тем не менее Рассел также впадает в ошибку в своем собственном рассмотрении отношения между памятью и временем, когда он утверждает, что память главным образом «случайно» обращена назад, а не вперед, открыта прошлому, а не будущему⁵. Этот взгляд подразумевает, что наше отношение к прошлому и будущему было бы симметричным, если бы не некоторая случайная причуда ума. Такой взгляд упускает из вида, что, когда мы вспоминаем прошлое, а также когда мы

¹ А. Бергсон, Материя и память, Собр. соч., т. 3, СПб., 1909, стр. 149.

² Там же, стр. 25.

³ Б. Рассел, История западной философии, Издательство иностранной литературы, М., 1959, стр. 815.

⁴ По иронии судьбы, с тех же позиций можно критиковать Рассела за его критику Зенона Элейского (см. гл. III, *passim*). Следует также отметить, что такой же критике Бергсон ранее был подвергнут Сэмюэлом Александером, хотя последний также не мог полностью избавиться от указанного смешения! (См. J. A. Gunn, *The Problem of Time*, London, 1929, p. 377.)

⁵ B. Russell, *Mysticism and Logic*, London, 1917, p. 202.

пытаемся предвидеть будущее, наше мышление стремится забежать вперед во времени (мы мыслим о событиях в порядке, в котором они происходят) и что для обращения этого естественного ряда в воспоминание требуется значительное усилие. Это не случайно, ибо в самой природе психической деятельности заложена направленность в будущее с целью предугадать событие, которое должно произойти¹.

Подобная ошибка лежит в основе недавнего утверждения Айера, что «не имеется априорной причины, почему людям не удастся сделать верных утверждений о будущем таким же самопроизвольным образом, как им удастся, что называется, упражняя память, делать верные утверждения о прошлом. Ни в коем случае не является важным состояние их ума; вся проблема заключается в том, что они получают правильные ответы, не стремясь к ним»². В обзорном очерке Прайс³ указал, что этот «бодрый взгляд на проблему представляет собой естественное следствие всем сердцем принятой Айером⁴ идеи, выраженной в эпиграмме «*le temps ne s'en va pas, mais nous nous en aliens*» (не время течет, а мы идем в нем). Ибо эта идея нашего непрерывно изменяющегося положения во времени тесно связана с теорией, «клочковатой вселенной»⁵, несмотря на то, что эта теория означает, что прошлые (и будущие) события сосуществуют с событиями настоящего — взгляд, который Айер категорически отвергает. Следовательно, не удивительна озадаченность Айера тем, что причина не может следовать за действием. Его решение опирается на *факт*, что мы знаем совсем немного о будущем по сравнению с прошлым: вот почему «наше доверие к памяти является важным фактором в формировании нашей идеи причинного направления событий»⁶. Но,

¹ W. McDougall, *An Outline of Psychology*, 7th edn, London, 1936, p. 234.

² A. J. Ayer, *The Problem of Knowledge*, London, 1956, p. 186.

³ H. N. Price, «Mind», 67, 1958, 457.

⁴ A. J. Ayer, *op. cit.*, p. 171.

⁵ Согласно этой теории, внешние события постоянно существуют, и мы только проходим сквозь них (см. стр. 293). Но если никакие события не происходят, кроме наших наблюдений, мы можем законно спросить — почему наши наблюдения представляют исключение?

⁶ A. J. Ayer, *op. cit.*, p. 198.

если бы когда-либо случилось так, что мы в равной степени стали бы полагаться на предузнавание, мы, вероятно, приняли бы «установку зрителя» и рассматривали бы причинность как обратимую.

Несмотря на ясность своего анализа, ни Айер, ни Прайс не достигли цели в разрешении этого спорного вопроса. Действительно, Прайс даже отмечает трудность сказать что-нибудь дельное о времени¹. Как ни странно, к тому же не указывается следующее элементарное, но существенное отличие между прошлыми и будущими событиями. Рассмотрим для иллюстрации две машины, одна из которых автоматически регистрирует конкретный ряд событий, например атмосферное давление на некоторой метеорологической станции, тогда как другая предсказывает соответствующие следствия. Не говоря о том, что вторая машина, вероятно, была бы значительно более сложной, чем первая, имеется фундаментальное различие между их соответствующими способами функционирования: каждое показание прибора записывается движущимся пером барографа на отрегулированном бумажном вращающемся цилиндре *одновременно* с событием, к которому это показание относится, тогда как показания приборов, напечатанные на телеграфной ленте, исходящей из устройства для прогноза давления, не будут вырабатываться одновременно с событиями, к которым они относятся. Это иллюстрирует существенную разницу между памятью и предсказанием и отражает асимметрию между прошлым и будущим. Так в общем объясняется, почему мы значительно больше верим нашим воспоминаниям, чем нашим предвидениям².

Конечно, мы можем не иметь никакого логически неопровержимого доказательства абсолютной надежности какого-либо воспоминания, будь то человеческого

¹ Н. Н. Price, «Mind», 67, 1958, 454.

² Даже наша вера в предсказания, например, Королевской Службы Морского Календаря основана на нашей *памяти* о прошлой надежности «Морского Календаря». Конечно, мы можем также сделать *ретродикиции*, подобные предсказаниям, поскольку они не делаются одновременно с событиями, к которым они относятся. Разница между ретродикициями и предсказаниями обусловлена степенью, в которой ретродикиции зависят от событий, которые были бы зарегистрированы, если бы они произошли, и в которой предсказания зависят от других предсказаний.

или машинного, так как гипотеза, согласно которой все, включая вызванные воспоминания, возникает некоторое мгновение тому назад, хотя и противоречит нашему общепринятому объяснению явления, не является формально несовместимой с нашим опытом настоящего. Все утверждения о прошлом должны в конце концов основываться на нашей готовности принять в качестве аксиоматического некоторое утверждение относительно прошлого, например, что волнистая линия на барографической диаграмме относится к подлинному временному ряду, то есть к событиям, которые действительно происходили одно за другим, а не одновременно.

Огромная часть нашего знания прошлого основывается на исторических записях и теоретических выводах из археологических, геологических и других данных. Тем не менее, хотя наши собственные личные воспоминания не простираются слишком далеко, они имеют жизненную важность. Большинство исторических записей основано на личных воспоминаниях о событиях, пережитых писателем или его современниками. Более того, хотя память как таковую надо отличать от чтения записанных мемуаров, и прошлое — которое конструируется критическим коллективным усилием человечества — следует отличать от нашего индивидуального «вспоминаемого прошлого», личная память является существенным фактором в нашем знании *близкого* прошлого.

9. ВРЕМЯ И ПСИХОЛОГИЯ ПАМЯТИ

Термин «память», подобно столь многим повседневно употребляемым словам, получил множество различных значений. Мы используем его для обозначения как *удержания*, так и *припоминания* нашего восприятия конкретных прошлых событий (и наших прошлых мыслей) в их временной последовательности. Мы также используем его для обозначения «непосредственной памяти»¹,

¹ Согласно Бине, она определяется следующим образом. Слушательные ряды цифр появляются со скоростью один раз в секунду. Испытуемого просят повторить их по порядку. Максимальное число, которое может быть повторено без ошибки, называется «интервалом непосредственной памяти»,

вспоминания собственных имен и многого из того, о чем мы читаем и слышим, а также узнавания знакомых афферентных стимулов (ассоциируемых с ранее встречавшимися людьми, вещами, местностями и т. д.). Наша способность к недатированной сознательной памяти роднит нас с некоторыми животными. Так же, как они, мы вспоминаем, как осуществить определенный заведенный порядок и профессиональные операции (память привычки и т. д.). На более низком уровне мы обладаем *бессознательной* памятью спинного мозга, которая в значительной мере контролирует, например, деятельность конечностей. Однако, поскольку в этой книге мы имеем дело с временем, мы будем концентрировать внимание главным образом на самом высшем виде памяти, часто называемом «психологической памятью», нашей памяти о прошлых событиях.

В ней, как неоднократно отмечал Аристотель, идея времени представляла существенную особенность: «Всегда, когда при помощи памяти... мы вспоминаем, что мы слышали, или видели, или изучали эту вещь, мы сознаем, что она была предшествующей; итак, предшествующее и последующее представляют различия во времени». Тем не менее, как указал Спирмэн¹, Аристотель в конце концов уступил *широко распространенной ошибке, что память можно определить безотносительно ко времени*², обратившись к понятию копирования, когда он писал: «Таково наше описание памяти и акта вспоминания; оно заключается в постоянстве образа, рассматриваемого как копия изображаемой вещи». На это мы можем вместе со Спирмэном возразить: «Должны ли мы сказать, что отпечаток ноги вспоминает ногу, которая сделала его?»

¹ C. Spearman, Psychology down the Ages, London, 1937, vol. I, p. 288.

² Спирмэн обратил также внимание на то, что в знаменитой статье венского физиолога Э. Геринга (E. Gering, Das Gedächtnis als allgemeine Funktion der organisierten Substanz, 1870) совершенно не учитывается осознание времени. Взгляды Геринга имели широко распространенное влияние благодаря их детальной популяризации зоологом Р. Семеном (R. Semon, Die Mneme, Leipzig, 1904), который постулировал, что *любое* раздражение, действующее на раздражимое вещество, оставляет после себя след, который он назвал энграмой.

Хотя при изучении психологической памяти мы должны тщательно различать удержание и припоминание, последнее является нашей проверкой первого. Часто наблюдается, что мы лучше припоминаем те мысли, которые связаны с нашими специальными интересами. Ибо, как отметил Уильям Джемс о феноменальной памяти Дарвина на биологические факты: «Если человек с ранней юности задастся мыслью фактически обосновать теорию эволюции, то соответствующий материал будет быстро накапливаться и прочно задерживаться»^{*}, И на более скромном уровне, как хорошо известно, атлет, который лишен других интеллектуальных достижений, часто обладает феноменальным знанием статистических данных, относящихся к играм и спорту. Это происходит из-за того, что он постоянно держит эти данные в своем уме, так что они представляют для него не множество разрозненных фактов, но цельную взаимосвязанную систему, и каждый факт поддерживается объединенной мощью всех остальных родственных фактов.

Важность ассоциаций и «оправы» («setting») наших индивидуальных элементов памяти едва ли можно переоценить. Если мы припоминаем прошлое событие без каких-либо ассоциаций или определенной окружающей обстановки, мы находим, что в высшей степени трудно решить, является ли оно актом памяти или воображения. С другой стороны, хорошо известно, что если мы долгое время поддерживаем воображаемое утверждение и непрерывно обращаемся к нему, мы можем в конце концов поверить, что оно представляет истинное воспоминание — сошлемся на убеждение Георга IV в поздний период его жизни, что он участвовал в битве при Ватерлоо и вел кавалерию в атаку! Более того, в старости преимущественная стойкость психических ассоциаций, формируемая событиями, происшедшими в детстве, часто тягостно контрастирует с неспособностью вспомнить, что случилось только несколько минут перед этим. Каков бы ни был наш «орган памяти», в таком состоянии пресбиофрении почти невозможно сделать в нем какую-либо новую запись.

^{*} У. Д ж е м с, Психология, СПб., 1905, стр. 249,

Систематическое экспериментальное исследование памяти было начато (если не упоминать несколько более ранних новаторских работ Фрэнсиса Гэлтона) Эббингхаузом, который опубликовал свои результаты в 1885 году в знаменитой монографии «О памяти» («Über das Gedächtnis»). Для того чтобы объективно изучить предмет, Эббингхауз придумал эксперименты (на себе), связанные с бессмысленными слогами. Он исследовал забывание количественно, в частности определяя число повторений, требуемое для повторного заучивания данного материала через изменяющиеся интервалы времени. Эббингхауз нашел, что кривая удержания в памяти сначала быстро падает, но затем асимптотически выравнивается, указывая, по его мнению, на то, что ассоциации, однажды образовавшиеся, никогда полностью не исчезают. Он также открыл, что при данном числе повторений обучение шло лучше, если они были разделены интервалом времени — и чем более многочисленны были интервалы, тем лучше результат. Другие эксперименты показали, что при заучивании серии слогов ассоциации образовывались не только между соседними слогами, но также между более удаленными членами серии. Эти ассоциации возникали в обоих временных надравлениях, то есть как при выучивании, так и при обратной деятельности.

Важность забывания для успешного функционирования памяти уже была подчеркнута много лет назад французским психологом Рибо. Рибо указал, что все вспоминаемые времена подвергаются «сокращению», обусловленному утерей громадной массы фактов, которые первоначально заполняли их. Однако такое сокращение дает нам громадное преимущество: «Если бы для достижения отдаленного воспоминания нам требовалось проследить весь ряд различимых состояний, то память не справилась бы с этой работой из-за продолжительности последней»¹. Поэтому мы приходим к парадоксальному выводу, что важным условием припоминания является то, что мы должны обладать способностью забывать! «Забывчивость, за некоторыми исклю-

чениями, является не болезнью памяти, но условием ее здоровья и жизни»¹.

Дети часто проявляют замечательное самопроизвольное запоминание подробностей спустя короткое время после того, как материал был им представлен в первый раз. По-видимому, они сохраняют свои первоначальные впечатления с большой легкостью благодаря тому, что они обладают меньшей проницательностью. Точно так же очень удивительно, как показал в 1913 году П. Б. Боллард², что дети обычно имеют склонность вспоминать больше *не полностью* запомненных стихотворения или вереницы бессмысленных слов по истечении дня или двух непосредственно после заучивания, даже если в промежутке они сознательно не думали о них. Другими словами, Боллард нашел, что кривая удержания в памяти (во времени) имеет горб, указывающий, что заучивание должно продолжаться подсознательно в промежутке между тестами. Боллард объяснял это странное явление, которое он назвал «воспоминанием» («*geminiscence*»), с помощью гипотезы, которая гласит, что из-за «инерции» мозгового механизма памяти она не поддается немедленному воздействию и в то же время не сразу перестает поддаваться воздействию. В настоящее время воспоминание обычно объясняется как лучшая организация не полностью заученного материала, но некоторые психологи отвергают работу Болларда, считая, что он не принял во внимание воздействие на обучение повторяющихся воспоминаний.

¹ Идиоты с механически запомненными воспоминаниями не могут воспроизвести определенного воспоминания, не перечислив весь комплекс событий, какими бы незначительными или случайными они ни были, в последовательном порядке. Хорошо известно также, что не имеющие письменности народы обладают феноменально хорошей памятью, если оценивать ее нашими мерками (Платон ссылаясь на факт, что искусство письма вредно для развития памяти). Многие из самых древних эпических поэм первоначально передавались потомству устно. Д. Кэй (D. Kay, *Memory: what it is and how to improve it*, London, 1888, p. 18, примечание) рассказывает, как прославленный миссионер д-р Моффат был удивлен, найдя вскоре после произнесения длинной проповеди группе африканских туземцев, что один из них — обыкновенный с виду юноша — повторил ее полностью внимательной толпе с необычайной точностью, имитируя так близко, как он мог, манеру и жесты миссионера!

* См. P. B. Ballard, *Obliviscence and Reminiscence*, Cambridge, 1913.

¹ T. Ribot, *Les Maladies de la Memoire*, Paris, 1881, p. 45.

Две наиболее известные теории памяти — теория Бергсона и теория Фрейда, хотя в других отношениях они очень различны, постулируют, что *всякое* забывание является результатом недостатка припоминающей, а не удерживающей памяти. Другими словами, забывание в принципе представляет обратимый процесс, а память (в смысле «бессознательного сохранения») необратима.

*Тихо-тихо, словно мыши.
Стрелка движется и пишет.
И, писать не прекращая,
Движется она по краю.
А вычеркивать не будет,
Как бы ни просили люди.
Будьте с ней добрей иль строже.
Ничего вам не поможет.
Не поможет Благодетель
Даже с Остроумьем вместе.
Не страшат ее угрозы
И не тронут ваши слезы —
Пусть они наполнят бочку,
Но не смоят ни полстрочки.*

Хотя эта гипотеза не может быть опровергнута чисто психологическими опытами, так как они больше касаются припоминающей памяти, чем удерживающей, в ее пользу говорят внушительные данные. Ибо хорошо известно, что люди в результате или болезни, или несчастного случая, или под влиянием гипноза часто припоминают с мельчайшими подробностями события, которые перед этим казались им полностью забытыми¹.

Другая гипотеза, гипотеза Фрейда, заключалась в том, что всякое забывание, даже незначительные ошибки речи и письма, которые мы обычно приписываем «случаю», в действительности *мотивированы*, то есть обусловлены эмоциональным торможением припоминающей

¹ Т. Рибо в главе об усилении памяти (op. cit.) приводит некоторые интересные примеры. Большинство из них взято из книги Форбенса Уинслоу (Forbena Winslow, On the Obscure Diseases of the Brain and Disorders of the Mind, London, 1861). Р. У. Джерард (R. W. Gerard, «Scientific American», 189, 1953, 118) ссылается на замечательный случай с каменщиком, который под действием гипноза «точно описал каждый выступ и борозду на верхней поверхности кирпича, который он заложил в стену за двадцать лет до этого!»

памяти¹. Несомненно, эта теория² пролила свет на многие странные явления памяти, которые ранее никогда не были объяснены. Тем не менее эту теорию трудно проверить экспериментально, ибо, как показал Целлер³, мы не можем недвусмысленно отличить эффекты забывания и *плохого заучивания*. Целлер утверждает, что даже очевидное подавление в повседневной жизни обстоятельств позорного акта может являться результатом плохого заучивания, приниженного индивидуального стремления уйти в самого себя и временно скрыться с глаз окружающих.

Общая гипотеза (включающая гипотезу Фрейда как частный случай), согласно которой забывание обусловлено обратным действующим вмешательством следующих непосредственно друг за другом впечатлений и чувствований недавно была, однако, остроумным образом проверена экспериментально Стейнбергом и Саммерфилдом⁴.

Прежде всего, они нашли, что прием успокоительного средства, например веселящего газа (закиси азота), ухудшает образование ассоциаций. Затем они показали, что прием этого препарата сразу после заучивания уменьшает забывание.

Бергсон⁵, как и Фрейд, полагал, что время не влияет на удерживающую память. Но он выдвинул «моторную» гипотезу воспоминания, утверждающую, что процесс воспоминания⁶ заключается в склонности отвергнуть или признать данное состояние, приняв определен-

¹ З. Фрейд, Психопатология повседневной жизни, М., 1910.

² Фрейд концентрировал внимание на определенных воспоминаниях, но Сиз (H. Sыз, «J. Gen. Psychob», 17, 1937, 355—387) показал, что эмоциональные факторы вообще могут совсем подавить припоминающую память. Он обнаружил замечательный случай, что полная амнезия всех событий, происшедшая после падения, продолжалась три года до тех пор, пока гипнотический и психоаналитический курс лечения не выявил эмоциональную причину этого полного подавления припоминающей памяти. Таким образом, припоминающая память может быть утрачена на годы и все же способность к ней сохранится.

³ A. F. Zeller, «J. Exp. Psychob», 40, 1950, 411—423.

⁴ H. Steinberg and A. Sommerfield, «Q. J. Exp. Psychob», 9, 1957, 138—145, 146—154.

⁵ А. Бергсон, Материя и память, стр. 149 и далее.

⁶ Таким образом, теория Фрейда занималась вопросом, почему мы забываем, а теория Бергсона — почему мы вспоминаем,

Ное физическое положение. Признав сходство, восприятие настоящего вызывает соответствующий образ из бессознательного, являющегося хранилищем воспоминаний.

К сожалению, эта теория не дает объяснения какому-либо воспоминанию, которое внутренне не соотносится с восприятием. Например, она не может объяснить наше припоминание *даты* прошлого события — существенную черту, когда мы используем память для реконструкции прошлого. Более того, несмотря на свое характерное подчеркивание активной природы воспоминания, Бергсон рассматривал удержание в памяти *статически*, и в его теории ум хранит рядом друг с другом (квазипространственно) все наши состояния в том порядке, в каком они происходят.

Значительно более удовлетворительный анализ памяти был дан Ф. Бартлеттом в его книге «Вспоминание» («Remembering»), впервые опубликованной в 1932 году. Бартлетт представил конкретные данные, что удержание в памяти, так же как припоминание, зависит от *динамических* факторов. Его исследования основывались на конструктивной критике оригинальных работ Эббингхауза, на которые мы уже ссылались.

При планировании своих экспериментов Эббингхауз испытывал влияние широко распространенной в то время «ассоциационистской» точки зрения, в соответствии с которой всю психическую деятельность можно было считать автоматической организацией чувственных впечатлений, обусловленных раздражением различных органов чувств. Считалось, что сложные идеи порождались ассоциацией простых идей, полученных из этих впечатлений. Память объяснялась как результат более или менее стабильной ассоциации одного впечатления или идеи с другими, так что появление одного вызывало другие. Недостаточность этой точки зрения была выявлена современником Эббингхауза Г. Мюллером¹, который усовершенствовал экспериментальную технику первого. Мюллер открыл, что нельзя пренебрегать *взаимодействием* ассоциаций и что при запоминании ум играет *творческую*, а не чисто механическую роль, так как вос-

принимает материал не пассивно, но группирует его, прислушивается к его ритму, устанавливает значения и т. д.

Таким образом, внимание было привлечено к роли «окружающей обстановки» в связи с памятью. Бартлетт не только полностью понял это, но выдвинул новую основу для своей критики использования Эббингхаузом бессмысленных слогов. Эббингхауз считал, что для правильного осуществления экспериментального метода необходимо использовать материал, который имеет одинаковое значение для каждого, и утверждал, что этому условию удовлетворяет материал, который ничего не означает. Но, как указал Бартлетт, это верно лишь вначале, поскольку однородные и простые стимулы не обязательно вызывают однородные и простые реакции, особенно у человека¹. Убеденный, что введенные Эббингхаузом экспериментальные рамки скорее мешают, чем содействуют изучению наиболее характерных особенностей припоминания, Бартлетт использовал вместо них специально подобранные осмысленные картины и прозу. В частности, он исследовал воспроизведение на протяжении нескольких лет тщательно подобранных легенд. Бартлетт окончательно показал, что «отдаленное» припоминание является не повторным возбуждением бесчисленных застывших, безжизненных и фрагментарных следов, а «воображаемой реконструкцией», зависящей от «установки» человека во время припоминания и использующей только несколько примечательных подробностей, которые в самом деле припоминаются, причем активная окружающая обстановка, которая контролирует человеческое припоминание, определяется нашими «интересами».

На место традиционной идеи пассивного «следа» как основного элемента механизма памяти Бартлетт ввел понятие «схемы», под которой он понимал «активную организацию прошлых реакций или прошлых переживаний», то есть схематичную форму прошлого. Это было изобретательным видоизменением идеи, первоначально сформулированной неврологом сэром Генри Хэдом для объяснения временной регуляции скоординированных

¹ G. E. Müller, Zur Analyse der Gedächtnistätigkeit und des Vorstellungsverlaufes, 1—3 Bd., Leipzig, 1911—1917.

¹ F. C. Bartlett, Remembering, Cambridge, 1932, p. 3.

движений тела'. «Схемы» Хэда располагались в хронологическом порядке. Аналогично, как указал Бартлетт, все припоминания относительно низкого уровня в действительности стремятся стать механической памятью (*rote memory*), то есть повторением ряда реакций в том порядке, в котором они первоначально происходили. Действительно, даже на высоком уровне поведения мы часто стремимся реагировать на серийные реакции всякий раз (когда наши критические способности находятся в упадке) так, как если бы мы были утомленными, в бреду или опьяненными. Но хотя этот процесс представляет наиболее естественный способ сохранения законченной (*completed*) «схемы», не нарушенной настолько, насколько это возможно, он имеет очевидные недостатки. Высшая психическая деятельность была бы невозможна, если бы мы не могли нарушить этот хронологический порядок и странствовать поверх событий, которые образуют наши «схемы» настоящего. С другой стороны, вследствие того, что органы чувств и движения низших животных ограничены, они подчиняются «инстинктивному поведению» (*habit-behaviour*), то есть постоянному повторению реакций в фиксированной хронологической последовательности. Однако с увеличением числа и разнообразия реакций у высших форм жизни механическое повторение и инстинктивное поведение постепенно теряют свое господствующее значение и становится все более и более необходимым стремиться к такому способу организации «окружающей обстановки» прошлых реакций, чтобы она была наиболее пригодной для нужд соответствующего момента. Для достижения этого организм должен приобрести способность изме-

¹ Например, каждое согласованное действие тела связано с рядом движений, каждое из которых совершается так, как если бы положение, достигнутое органами тела в конце предыдущей стадии, как-то регистрировалось бы и все еще функционировало бы, хотя эта стадия уже прошла. Хэд нашел, что понятие индивидуальных образов или следов недостаточно для объяснения способа, с помощью которого прошлые движения все еще сохраняют свою регуляторную функцию. Взамен он ввел понятие, которое он назвал «схемой». «Благодаря беспрестанному изменению положения мы всегда строим модель нашей позы, которая постоянно изменяется. Каждая новая поза движения записывается на этой пластичной схеме, и деятельность коры соотносит с ней каждую новую группу ощущений, вызванных изменением позы» (H. Head, *Studies in Neurology*, Oxford, 1920, vol. II, p. 606).

нить свои собственные схемы и конструировать их заново. *Это происходит тогда, когда возникает сознание.* Возможно, то, что тогда возникает, представляет собой *установку* по отношению к обобщенному результату ряда прошлых событий. Но как мы различаем определенное прошлое событие—другое по сравнению с тем, которое произошло последним? Согласно Бартлетту, наши *интересы* (а на низшем уровне—наши аппетиты и инстинкты) предрасполагают нас к такому различению. Таким образом, если мы, по его примеру, будем использовать термин «след» вне его связи с заранее «фиксированным хранилищем» (а мы, по моему мнению, должны сделать так), то отпечатки, которые участвуют в припоминающей памяти, надо считать подчиненными нашим интересам и они должны изменяться вместе с изменением наших интересов.

Поэтому два главных вывода из нашего обсуждения психологического анализа памяти заключаются в следующем:

(1) бессознательная *удерживающая память* в принципе необратима;

(2) «след», извлеченный обычной *припоминающей памятью* (то есть при сознательном припоминании без помощи гипноза или других аномальных средств) не является статичным, неподвижным отпечатком, энграмой, но динамически подвержен влиянию изменяющихся «схем» ассоциаций, обусловленных эволюцией наших интересов и нашими способностями размышления и воображения.

10. ВРЕМЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ПАМЯТИ

В психологии мы изучаем поведение и размышляем о физиологической структуре, которая может обуславливать его. С другой стороны, в нейрофизиологии мы исследуем функционирование центральной нервной системы, как она вызывает поведение или влияет на него. Только в последние семьдесят лет, фактически главным образом в последние два десятилетия, отмеченные бурным развитием новой микротехники, был достигнут значительный прогресс в нашем понимании физиологии мозга, однако наши знания еще отстают от знания во

многих более старых областях психологии. Тем не менее нам теперь надо попытаться посмотреть, являются ли два главных вывода, полученных при нашем обсуждении психологии памяти, совместимыми с недавними успехами нейрофизиологии.

Около 1890 года испанским физиологом Рамон-и-Кахалом было впервые показано, что нервная система состоит из дискретных нервных клеток (впоследствии названных *нейронами*) с одинаковой общей структурой, причем функциональные контакты между ними устанавливались при тесном контакте свободных концов, а не при синцитиальной непрерывности, как в конкурирующей ретикулярной теории Герлаха и Гольджи. В 1897 году Шеррингтон дал этим функциональным соединениям название *синапс*. Его большим достижением явилось обнаружение того, как реакции нервной системы могут быть объяснены при помощи интегрированного поведения независимых нейронов, каждый из которых функционирует как целое и передает соответствующее возбуждающее или тормозное синаптическое влияние на другой нейрон¹. Число этих клеток в человеческом мозге составляет около 10^{10} . Энцефалографические исследования показывают, что все они находятся в состоянии почти постоянной активности. Это имеет важное значение для проблемы физиологии памяти, ибо ясно, что любые нейроны, которые удерживают в памяти какой-нибудь определенный след какого-либо опыта, должны выполнять также многие другие функции.

Много лет назад Гельмгольцем, Дюбуа-Реймоном и другими было показано, что нервный импульс по своей природе электрический, хотя он не является просто электрическим током. Позднее было найдено, что нерв, наподобие мышцы, рефрактен, так что второй электрический импульс не проходит, если стимулы следуют друг за другом слишком быстро, причем время восстановления имеет порядок одной сотой секунды. Около 1912 года Лукас и Эдриан показали, что нейрон действует на основе принципа, который Лукас назвал принципом «все или ничего», то есть он передает импульс

своему *аксону* (или выходному¹ волокну), который затем действует на другие клетки только в том случае, если импульс достаточно сильный, после чего нейрон переходит в неактивное состояние. Химик Оствальд и другие открыли, что аксон покрыт очень тонкой поляризованной полупроницаемой мембраной (отрицательно заряженной на внутренней стороне и положительно — на внешней), которая отделяет внутренний субстрат от внешнего, совершенно другого по составу. Разность потенциалов на этой мембране (толщиной несколько десятых микрона) имеет порядок 60 милливольт, и электрический импульс генерирует на ней временно локализованное нарушение. Получающееся электромагнитное поле возмущения вызывает подобное же нарушение в смежной области аксона в то время, когда первоначальная разность потенциалов в первой области восстанавливается. Этот процесс продолжается до следующего аксона и обуславливает так называемое явление «разряда» нейрона. Скорость процесса однородна. Она измеряется пропорционально квадратному корню из диаметра волокна и имеет порядок 5 сантиметров за миллисекунду.

За последние десять лет в результате главным образом исследований А. Ходжкина и О. Хаксли было показано, что, когда импульс проходит через какую-либо область аксона, ионы натрия стремятся проникнуть в мембрану из внешнего субстрата и зарядить внутреннюю часть положительно. Затем, когда импульс исчезнет, ионы калия стремятся покинуть волокно и восстановить первоначальный потенциал мембраны². Однонаправлен-

¹ Каждый нейрон имеет большое число входных, или воспринимающих, волокон, известных под названием *дендритов*, и только один аксон. На своем конце аксон разветвляется на множество более мелких волоконцев. Синапсы представляют маленькие области, где эти волоконца контактируют с дендритами других нейронов. Согласно Мэри А. Б. Брэзье (M. A. B. Brazier, *The Electrical Activity of the Nervous System*, 2nd ed., London, 1960, p. 91). «маловероятно, что в нервной системе человека когда-либо имеет место простой случай отдельного волокна, контактирующего с одним вторым нейроном. Каждая клетка находится в дебрях переплетающихся окончаний волокон».

² Когда нейрон не возбужден, клеточный метаболизм ответствен за сохранение нормальной разности ионной концентрации между нейроном и окружающим субстратом, и натрий «выкачивается», а калий вводится.

¹ См. C. S. Sherrington, *Integrative Action of the Nervous System*, Yale (New Haven), 1960.

Ное действие нервного импульса (от ядра клетки), как теперь полагают, полностью обусловлено синапсами, ибо эксперимент обнаружил, что если бы не синапсы, импульсы могли проходить в обратном направлении вдоль аксонов. До недавних пор в общем предполагалось, что передача импульса через синапс к следующему нейрону имеет электрическую природу; но в настоящее время накопились данные, которые показывают, что, когда импульс достигает конца нервного волокна, он высвобождает крошечное количество химического вещества, которое пересекает промежуток и раздражает следующую нервную клетку в проводящей цепи.

При некоторых обстоятельствах отдельный импульс не может быть передан через синапс от одного нейрона к другому, тогда как два или более, сложившись, могут быть переданы. Более того, считают, что вероятность передачи увеличивается, когда два или более импульсов вместе достигают отдельного аксона. Время поэтому является важным фактором в передаче нервного возбуждения. Небольшая амплитуда электроэнцефалограмм указывает на то, что нервные возбуждения в сознании прежде всего асинхронны, и любая резко выраженная синхронность обычно приводит к эпилептическим судорогам.

Принцип «все или ничего» может служить причиной того, что мы инстинктивно чувствуем обязанность основывать наши «законы мысли» на двужанной логике. Нервное действие, как оно есть, можно достаточно широко изображать числами, закодированными с помощью двоичной системы цифрами 1, 0. Эти цифры изоморфны также коротким и длинным сигналам (точкам и тире) азбуки Морзе. Далее, если сообщение закодировано в виде определенной, и в общем длинной, последовательности двух символов 1 и 0, то естественно спросить, можно ли перекодировать ее более кратко с помощью определенно выбранной стандартной подпоследовательности, то есть особой последовательной схемы из двух символов, например 00, 01, 10, 001, 010, 100 и т. д.

С целью определения возможной физиологической основы схемы Бартлетта Олдфилд¹ несколько лет назад предположил, что сигналы мозга типа азбуки

» R. C. Oldfield, «Brit. J. Psychol.», 45, 1954, 14–23,

Морзе, соответствующие определенному воспоминанию, могут быть разложены мозгом на множество узнаваемых стандартных схем. Любая частная особенность, которую нельзя было бы записать таким образом, была бы, однако, передана полностью. Олдфилд считал наиболее остроумным не только то, что такой процесс был бы экономичным, но также то, что совокупность (corpus) стандартных схем подпоследовательностей (subsequences), с различными возможными связями между ними, могла бы обеспечить механизм схем Бартлетта. Исключительные частные особенности, которые нельзя было бы уложить в узнаваемые схемы, служили бы «ярлыками» для идентификации-целей и, возможно, отправными точками припоминающей памяти.

Далее, хотя это надо рассматривать как пробную гипотезу, а не как законченную теорию, интересно открытие Гомулицкого, сделанное при подробном изучении припоминания (recall) и заключающееся в том, что, по-видимому, имеет место значительное количество «сокращений», когда память первоначально перекодируется, так что хранимое в памяти является подобием конспекта¹. Более того, психологические эксперименты показывают, что из двух сообщений равной длины то, которое содержит большее количество излишней информации, знакомой слушателю, легче вспоминается им, вероятно, благодаря тому, что оно позволяет ему переупорядочить материал в знакомую последовательность и тем самым значительно сократить по длине². Далее, Джерардом³ было указано, что схематичное припоминание может легко изменяться со временем, если случайно определенные нейроны или синапсы исчезнут, и что это может объяснить изменения определенного воспоминания при последовательных припоминаниях.

Гипотеза Олдфилда представляет пример недавно возникшей широко распространенной тенденции рассматривать операции электронных вычислительных машин как

¹ B. Gomulicki, Recall as an Abstractive Process, University of Oxford D. Phil. Thesis, 1952. Сокращение объясняет способность узнавать мелодию, впервые услышанную в другом ключе.

² G. A. Miller, Human Memory and the Storage of Information, «Inst. Radio-Engrs. Trans.», PGIT, 2, 1956, 129–137.

³ R. W. Gerard, «Scientific American», 189, № 3, Sept. 1953, 126.

ключ к разгадке общего функционирования мозга, включая высшие психические процессы. Границы этой аналогии ясно указаны одним из наиболее блестящих математиков нынешнего столетия (и авторитетом по вычислительным машинам) Джоном фон Нейманом в его посмертно опубликованной силлимэновской лекции¹. Самые большие автоматические вычислительные машины содержат только несколько тысяч электронно-вакуумных ламп, тогда как в мозгу имеется более десяти тысяч миллионов нейронов, сконцентрированных в объеме порядка 1 литра. Следовательно, число кубических сантиметров, нужных для единицы рабочего механизма, составляет от 10 до 10² в машине и около 10⁻⁷ — в мозге.

Точно так же вся потребляемая мозгом энергия имеет порядок 10 ватт, что сравнимо с затратой энергии одной электронно-вакуумной лампой! Но наиболее глубокое различие между мозгом и машиной лежит в соответствующих временах их действия. Время реакции нейрона (между возможными последовательными стимуляциями) имеет порядок 10⁻² секунд, тогда как время реакции электронно-вакуумной лампы (или транзистора) имеет порядок от 10⁻⁶ до 10⁻⁷ секунд. Следовательно, компонентов мозга больше по числу и они медленнее, компонентов машины меньше по числу и они быстрее. Поэтому Нейман утверждал, что благодаря меньшей скорости и значительно большему числу работающих единиц мозг будет стремиться поправлять процесс посредством многих информационных (или логических) воздействий; так как он может работать параллельно, то есть *одновременно*, тогда как машина с большей вероятностью будет располагать вещи в ряд, то есть работать *последовательно*. Это *временное* различие имеет далеко идущие следствия. Ибо не каждое упорядоченное множество операций может быть подменено параллельным множеством, так как в первом некоторые операции могут совершаться только *после* некоторых других, а не одновременно с ними. Переход к упорядоченной схеме от другой параллельной схемы может быть невозможным или возможным только в случае изменения

¹ Д. ж. Нейман, Вычислительная машина и мозг, «Кибернетический сборник», вып. 1, М., 1960, стр. 11—60.

логической процедуры. «В частности, — писал фон Нейман, — почти всегда будут возникать новые требования к памяти, поскольку результаты операций, выполняемых вначале, должны храниться до тех пор, пока не будут выполнены последующие операции. Следовательно, можно ожидать, что логический подход и структура в естественных автоматах будут сильно отличаться от соответствующих характеристик искусственных автоматов. Вероятно также, что в последних требования к памяти будут, как правило, более жесткими, чем в первых»⁴

Из пронизательных замечаний фон Неймана ясно, что мы должны обратить особое внимание на *временные* аспекты памяти и на общее функционирование центральной нервной системы. Этот вывод согласуется с тем фактом, что основной метод, посредством которого нейрон передает информацию, является *хронометрическим*. Ибо, используя язык инженеров, здесь имеет место код *частотно-модулированных* пульсаций, так как принцип «все или ничего» осуществляется в зависимости от интенсивности стимулов, преобразуемых в частоту² пульсаций, то есть число пульсаций, передаваемых за единицу времени. Так как более слабые сигналы передаются с более длинными интервалами, чем интервалы между более сильными сигналами, эту систему можно рассматривать как искусное естественное средство для того, чтобы обойти вредный эффект «шума»³ в противоположность *амплитудной* модуляции, при которой на слабый сигнал шум оказывает большее влияние.

Специфически временное понятие для измерения действия нервного импульса было введено в начале этого века французским физиологом Лапиком⁴. Он назвал его *хронаксией*, определяя ее как время возбуждения, нуж-

¹ Д. ж. Нейман, цит. соч., стр. 43.

² Частота изменяется приблизительно как логарифм интенсивности стимула, в общем согласно фехнеровскому закону ощущений, если только стимул не настолько интенсивен, что соответствующий интервал времени меньше периода восстановления нейрона (минимальный интервал между следующими друг за другом импульсами). Обычно частота заключается между 50 и 200 в секунду, хотя в исключительных случаях она достигает 500 в секунду.

Термин, используемый радиоинженерами для обозначения усредненного фонового эффекта молекулярных движений, температурных колебаний и т. п.

L. L'aricque, «C. Rend. Soc. BioL», 67, 1909, 280—283; «Rev. Oen. des Sciences», 1910, I3—117.

ное для возникновения реакции на стимул, *в два раза* интенсивнее, чем *ребаз* (минимальный стимул, который вызывает реакцию после бесконечно долгого периода возбуждения). В настоящее время хронаксия считается более сложной, чем думал Лапик. Лапик утверждал, что каждая мышца имеет такую же хронаксию, как и связанный с ней нерв, и, если хронаксия мышцы или нерва изменяется, сокращение мышцы под влиянием возбуждения нерва становится затрудненным. Пьерон¹ предположил, что подобные отношения могут существовать между нейронами, и один нейрон возбуждает селективную реакцию другого с приблизительно одинаковой хронаксией. Однако в случае достаточно сильных импульсов ответные реакции могут быть получены от все более гетерохронических нейронов. Хронаксия изменяется не только под влиянием усталости, токсических агентов, адреналина и т. д., но также под влиянием самого нервного действия, так как нейроны коры наиболее подвержены изменениям. Делаж² предположил, что, когда благодаря интенсивному стимулу один нейрон заставляет вибрировать вместе с собой другой нейрон с отличающейся хронаксией, хронаксия второго стремится стать более или менее равной хронаксии первого, хотя в конце концов она *асимптотически* (то есть всегда не точно) возвратится к своему первоначальному значению.

Существенно *хронологическая* природа нервной функции давным-давно подчеркивалась Декартом. В своем «Трактате о человеке» («Traite de l'Homme») он сравнил нервную функцию с гармонической структурой органной музыки. На Уэллкамском симпозиуме 1957 года по «Истории и философии познания мозга и его функций» Уолтер Ризе обратил внимание на эту аналогию и назвал ее «особенно удачной»³, так как она приблизительно за триста лет предсказала «кинетические мелодии» К. Н. Монакова, большой труд которого «Локализация в головном мозге» («Die Lokalisation

¹ H. Pieron, *Thought and the Brain*, London, 1927, p. 139.

² A. Delage, «*Rev. Philos.*», 1915, 299; Le Reve, Paris, 1920, p. III и след.

³ W. Riese, *Descartes's Ideas of Brain Function*, в: *The History and Philosophy of Knowledge of the Brain and its Functions* (ed. F. N. L. Poynter), Oxford, 1958, p. 118.

im Grosshirn») появился в 1914 году. В этом массивном томе Монаков разрушил идею о (вербальной) энграме как о статичном следе, или отпечатке, и заменил ее понятием того, что он назвал *хроногенетической локализацией*. Таким образом, если раньше энграму изображали как имеющую точное местоположение, то Монаков рассматривал ее как имеющую определенную историю, в течение которой она может подвергаться глубоким изменениям по содержанию и смыслу, связанным даже с более широко распределенной структурой коры.

Гипотеза Монакова, согласно которой память (и другие интеллектуальные функции) не может быть локализована в определенных областях коры, получила поддержку в обширных исследованиях американского психо-физиолога К. С. Лэшли¹. Лэшли провел много экспериментов, исследуя действие удаления больших участков коры у животных, особенно у крыс и обезьян. Он нашел, что эти удаления в общем вызывали небольшие нарушения. Например, память на определенные визуальные формы сохранялась, когда удалялись почти все клетки зрительной зоны крысы и из миллиона клеток оставлялось около 20 000, и это несмотря на данные о том, что никакая часть коры мозга у крыс, за исключением зрительных областей, несущественна для зрительного восприятия и памяти. Действительно, крыса может сохранить так много воспоминаний (приобретенных при научении) после удаления столь многих участков коры ее мозга, что становится ясно: ни одну конкретную часть коры нельзя рассматривать как существенную для этих воспоминаний. Тем не менее крыса не может обойтись без *всей* своей коры. Поэтому Лэшли сделал вывод, что воспоминания не зависят от *локализованных* энграм, но от факторов, действующих на кору или определенную область *как целое*. Через несколько лет он предположил, что воспоминания, возможно, представляют более или менее стабильные резонансы или интерференционные структуры нейронной активности, которые редуцируются на всей коре или на определенной ее области².

¹ K. S. Lashley, *Brain Mechanisms and Intelligence*, Chicago, 1929.

² K. S. Lashley, *In Search of the Engram*, «Symposia of the Soc. for Exp. Biology», Cambridge, 4, 1950, 479.

Комментируя открытия и выводы Лэшли, авторитетнейший из современных представителей нейрохирургии Уилдер Пенфилд утверждал¹, что, когда мы поднимаемся по эволюционной лестнице, мы находим доказательства увеличивающейся специализации и уменьшающейся заменяемости различных частей коры больших полушарий. Пенфилд открыл, что в случае больных, страдающих очаговой эпилепсией, приложение раздражающего электрода² к коре, к доминирующей височной доле, могло вызвать у больных пробуждение определенных воспоминаний из их более раннего жизненного опыта. Пенфилд утверждал, что это указывает на более или менее точную локализацию следов памяти, но его аргумент критиковался на том основании, что из него не следовала автоматически необходимость хранения воспоминаний в тех областях мозга, из которых они могли быть извлечены. Более того, Пенфилд обнаружил, что когда большая часть коры доминирующей доли вырезана, то хотя больной освобождался от повторяющихся эпилептических галлюцинаций, связанных с особо неприятными воспоминаниями (появляющимися при эпилепсии произвольно), он мог все же вызвать это воспоминание *произвольно*. Отсюда Пенфилд сделал вывод, что должен иметься идентичный след памяти, хранимый в недоминирующей височной доле, и что, поскольку память является не просто прошлым событием, а его индивидуальным осмыслением и прочувствованием, высшие обобщающие процессы не происходят в коре. Полагая, что они должны *где-то* происходить, Пенфилд считал, что мы должны рассмотреть ту часть мозга, которая имеет симметричное функциональное отношение к обоим полушариям коры, а именно верхнюю часть ствола мозга, которая включает таламус, или филогенетически более древний отдел мозга, обнаруживаемый даже у са-

¹ Wilder Penfield and H. Jasper, *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*, London, 1954, p. 472.

² Применяемый электрический ток обычно имеет напряжение в несколько вольт с частотой колебаний от 40 до 100 герц, и период колебания составляет от 2 до 5 миллисекунд. Больной не знал, если ему не говорили, когда именно прикладывали электрод, так как он не чувствовал никакой боли, когда хирург вмешивался в работу коры,

мых примитивных видов животных'. В поддержку этой гипотезы относительно окончательного местонахождения сознания Пенфилд заметил, что надавливание на таламус вызывает потерю сознания. Но как бы ни были интересны эти данные, особенно учитывая тот факт, что кора мозга может, очевидно, успешно сопротивляться насильственному воздействию, они не представляются необходимыми для доказательства гипотезы Пенфилда, так как они лишь подтверждают, что таламус необходим для сознания, точно так же как кислород и сахар крови. Действительно, трудно поверить, чтобы высшие психические процессы человека на самом деле совершались в самой примитивной части его мозга. Вообще говоря, мы не должны автоматически предполагать, что какой-либо области неизбежно надо приписывать те функции, которые не могут быть эффективно выполнены, если эта область повреждена или разрушена.

Однако исследования Пенфилда имеют огромную важность для поддержки гипотезы, согласно которой мозг, или разум, сохраняет полную запись потока сознания, то есть всех деталей, регистрируемых в психике² во время их появления, хотя позднее большинство из них полностью утрачивается контролируемой памятью. Специфические переживания, вызываемые электрической стимуляцией коры, вероятно, случайны, но после того, как они были вызваны, они стремятся повториться при следующей стимуляции. Другими словами, один и тот же «клочок времени» стремится снова воспроизвестись³.

¹ Wilder Penfield and H. Jasper, *op. cit.*, p. 479. С тех пор Н. Иосии, П. Прюво и Г. Гасто (N. Yoshii, P. Pruvot and H. Gastaut, «E. E. G. and Clin. Neurophys.», 9, 1957, 695) показали, что если кошка была научена реагировать на вспышки света фиксированной частоты в данных окружающих условиях, а затем будет помещена в те же условия без световых вспышек, то ритмические разряды с частотой первоначальных вспышек будут спонтанно появляться в ретикулярной формации ствола мозга. Это открытие может оказаться вехой в нашем понимании нейрофизиологии *более элементарных* процессов памяти.

² Включая «подсознательное осмысление», как обнаруживается, например, при гипнозе.

³ Два различных «клочка времени» никогда не воспроизводятся вместе. Похоже на то, что если один «клочок» воспроизводится, то некоторый механизм «все или ничего» препятствует воспоминанию других «клочков времени»,

В лекции¹, прочитанной в 1957 году, Пенфилд заявил, что «это свойство не есть память, как мы обычно употребляем это слово, хотя оно может иметь некоторое отношение к ней. Ни один человек не может с помощью волевого усилия вспомнить такое изобилие деталей. Человек может выучить песню и идеально спеть ее, но он, вероятно, не может вспомнить в подробностях хотя бы один случай из многих, когда он слышал ее. Большинство вещей, которые человек может вспомнить, является обобщениями и подытоживаниями». Больные говорят, что переживание, вызванное раздражением электрическим током, «значительно более реально, чем воспоминание», и заставляет еще раз пережить прошлое. Эти «вспышки прошлого» («flashbacks») обычно освещают крайне незначительные происшествия, которые больной сам никогда произвольно не вспомнил бы. Электрод позволяет воспроизвести все те вещи, на которые больному приходилось обращать внимание в соответствующий интервал времени. Но, несмотря на это раздвоение сознания, больной полностью сохраняет осознание данной ситуации. Действительно, часто он вскрикивает от изумления, видя и слыша друзей, которых на самом деле он знал очень давно или которых даже нет больше в живых. Его воспоминание прошлого сопровождается теми же мыслями и чувствами, которые он испытывал тогда.

Помимо этих замечательно ярких примеров «вспышки прошлого», Пенфилд открыл недавно другой тип ответной реакции, которую он описал как «истолковывающую». Ибо когда Пенфилд возбуждал часть коры на задней границе (правой) височной доли, которой анатомы еще не приписали никакой предварительной функции, он с удивлением открыл, что реакция больного, со слов самого больного, заключалась в истолковывающем «чувствовании» данной ситуации, а именно что она была «знакомой», «чужой» и т. д. Поэтому Пенфилд назвал эту область мозга «сравнивающе-истолковывающей корой» и выдвинул следующую гипотезу о ее нормальном функционировании.

«Когда вы встречаете давно знакомого, которого вы могли уже забыть, на вас может сначала воздействовать

внутренний сигнал знакомости благодаря звуку его голоса, его улыбки, манеры его разговора. Почти мгновенно некий странный механизм мозга даст вам стандарт для сравнения. Вы видите, чем этот данный человек отличается от вашего давнего знакомого — человека, о котором вы не думали много лет. Мгновением раньше вы не могли бы обрисовать его. Теперь вы можете сравнить прошлое с настоящим очень подробно. Вы отмечаете мельчайшие изменения в лице и волосах. Вы замечаете, что его движения замедлились, волосы, увы, поредели, плечи ссутулились. Но его смех, возможно, не изменился.

Я предположил бы, что сравнивающе-истолковывающая кора височной доли как-то управляет отбором и активацией небольших клочков прошлой сознательной жизни, в которой этот человек был когда-то в фокусе вашего внимания. Она делает возможным развертывающий процесс, при котором прошлые переживания, как бы ни были они разбросаны во времени, отбираются и делаются доступными для настоящего, для целей сравнительного истолкования».

С этой точки зрения в истолковывающей коре имеется скрытый механизм, который высвобождает прошлое и развертывает его для автоматического истолкования настоящего. Более того, он, вероятно, также служит нам при сознательном сравнении настоящего опыта с прошлым.

Большинство хирургических стимуляций коры с помощью электрода сопровождается молчанием и никогда не вызывает конструктивного мышления. Если раздражается центр речи, у больного временно наступает афазия: он хочет говорить, но не может. Пенфилд делает вывод, что электрод может вызывать положительный эффект только в тех областях коры, которые «в обычном состоянии посылают поток нервных импульсов к удаленным скоплениям нервных клеток, чтобы там активировать механизмы», и, следовательно, фактическая регистрация прошлого опыта должна происходить в удалении от раздражаемой области.

Обсуждая утверждение Пенфилда, что у человека и высших обезьян имеется большая дифференциация коры, чем у низших животных, Лэшли¹ обратил внимание

¹ Wilder Penfield, «Proc. Nat. Acad. Sei.» (Washington), 44, 1958, 51—66.

¹ K. S. Lashley, In Search of the Engram, op. cit, p. 486.

на тот факт, что хирургическое удаление некоторых частей лобной доли человеческого мозга не вызывает таких резко выраженных дефектов, какие обычно бывают в результате широко распространенного сильного травматизма. И хотя взгляды Лэшли не разделяются всеми специалистами, вероятно, он прав, утверждая, что, в то время как различные области коры имеют относительно специфичные функции памяти, *не существует точной локализации конкретных воспоминаний.*

Гипотеза Лэшли, гласящая, что воспоминание связано с подпороговым воспроизведением всей системы ассоциаций, которые взаимно содействуют друг другу, точно соответствует теории «схем» Бартлетта. Но это не все. Исследования Бартлетта касались закрепления в памяти осмысленного материала, тогда как гипотеза Лэшли проливает свет на факты, относящиеся также к закреплению в памяти бессмысленных слогов, в частности на открытие Эббингхауза, согласно которому ассоциации образуются не только между смежными, но также между удаленными слогами. Лэшли рассматривал это как элементарную иллюстрацию общего принципа, что каждое воспоминание становится частью более или менее обширной организации.

Тем не менее, хотя мы можем принять общий вывод Лэшли, что долговечные следы памяти не могут быть точно локализованы в коре, отсюда не следует, будто мы должны признать также его конкретное предположение, что эти энграммы представляют собой более или менее стабильные резонансные структуры нейронных колебаний -на сравнительно больших площадях¹. Действительно, эту идею трудно примирить с хорошо установленным фактом, что долговечные воспоминания могут претерпеть большие изменения во всеобъемлющей

¹ С другой стороны, хотя надо признать, что еще не установлено никакого прямого соотношения между синапсами и памятью, возможно, что энграмма *кратковременной* памяти длительностью в несколько секунд, то есть непосредственная память, может быть электрохимической пульсацией, циркулирующей в замкнутой петле нейронов. Существование таких петель обратной связи стало правдоподобным после открытия в 1934 году Лорентом де Но закона «обратных связей», согласно которому любые два нейрона, синаптически связанные в одном порядке, связаны также в обратном порядке. Согласно оценке Лорента де Но, период нейрон-

Деятельности мозга. После глубочайшего наркоза или после сильного много раз повторяющегося электрического шока, который, казалось бы, должен был нарушить все колебательные структуры коры, воспоминания обычно возвращаются невредимыми¹. Аналогично, хотя в мозг находящегося в зимней спячке хомяка, искусственно охлажденного для уменьшения всякой электрической активности до 40° F, втыкались иголки, не было обнаружено никакой потери памяти, если животное после выздоровления испытывалось на сохранение узнавания простого лабиринта, изученного ранее².

Тот факт, что долговечные воспоминания могут сохраниться после таких сильных и разнообразных возмущений, представляет серьезную трудность для многих в других отношениях правдоподобных теорий. Например, Крэгг и Темперли³ предположили, что поддержание воспоминаний надо рассматривать как кооперативный процесс, аналогичный магнитному гистерезису, но трудно видеть, как с этой точки зрения воспоминания могут сохраниться после присоединения сильных электрических полей, которые, казалось бы, должны были разрушить любые такие кооперативные организации. Подобное возражение можно выдвинуть против остроумной

ного цикла составляет около одной сотой секунды. Поэтому трудно представить, как на протяжении периода более нескольких секунд можно избежать взаимодействия между различными структурами воспоминаний и реверберирующий цикл сохранит фазу. Фактически, как подчеркнул Дж. С. Уилки (J. S. Wilkie, *The Science of Mind and Brain*, London, 1953, p. 40—41), существует большая диспропорция между нейрофизиологической шкалой времени, стандартной единицей которой служит миллисекунда, и временной шкалой долговечной памяти, которую надо измерять не только днями, месяцами и годами, но даже десятилетиями!

¹ В. Эльзассер (W. M. Elsasser, *The Physical Foundation of Biology*, London, 1958, p. 136) сравнивает такой шок мозга с электрической искрой, которая попадает в электронную вычислительную машину и вызывает в ней сильные быстро переходящие возмущения. В этом случае, замечает он, «трудно представить, как такое нарушение может оставить неповрежденной всю циркулирующую информацию». С другой стороны, травматическая амнезия обычно затрагивает воспоминания о всех событиях, непосредственно предшествующих сильному шоку. Это совместимо с гипотезой, что кратковременные воспоминания поддерживаются благодаря колебаниям нейронных циклов.

² R. W. Gerard, *op. cit.*, p. 122.

³ B. G. Cragg, H. N. V. Temperley, «*E. E. Q. and Clin. Neurophys.*», 6, 1954, p. 85—92.

теории Дж. С. Нрингла¹, основанной на аналогии со свободно соединенными осцилляторами в теории электрических цепей. Согласно Принглу, «статистическая стабильность процесса памяти», как он называет ее, обусловлена характером колебаний большого числа клеток как нейронных цепей с обратной связью, которые, к примеру, становятся свободно связанными, если две цепи имеют один общий нейрон.

Трудности механистического объяснения долговечной памяти заставили некоторых физиологов рассмотреть возможности *химического* хранения памяти. Было предположено, что специфичность памяти может быть обусловлена непрерывным изменением белков в синапсах. Хорошо известно, что через годы после, скажем, заболевания тифом, несколько новых нападений микробов гифа будут отражены благодаря внезапному энергичному высвобождению соответствующих антител, как будто бы клетки тела имеют особую химическую память. Тем не менее трудно представить, каким образом любая структурная модификация определенного набора молекул мозга может выполнять функцию следа изолированного воспоминания одного события, мимолетно увиденного много лет назад². Ибо, как указывает Эльзассер³, едва ли можно изобрести более эффективную схему, подвергающую информацию необратимому разрушающему воздействию «шума». Эксперименты с мечеными атомами показали, что все аминокислоты белковых молекул живого организма раньше или позже изменяют свое положение, структуру и химическую среду. Так как синапс имеет линейные размеры только порядка микрона, трудно поверить, что большое число таких крошеч-

ных физических систем может годами сохранять координированные материальные модификации, подвергаясь в то же время непрерывному метаболизму.

Однако против этой точки зрения выступил Д. М. Маккэй¹. Он считает, что в фотографической эмульсии информация легко и непрерывно может храниться с плотностью выше 10^6 бит на 1 кубический сантиметр². Хотя фотографическая эмульсия, очевидно, значительно стабильнее ткани мозга, Маккэй утверждает, что такая плотность хранения делает требования к нервной ткани «относительно умеренными». По его мнению, информация в мозге может храниться в статистически распределенной форме и не требуется никакого сложного и шумозащитного механизма. Какой бы убедительной ни могла показаться с первого взгляда эта критика выводов Эльзассера, она не учитывает всей сложности рассматриваемой проблемы. Фотографическая пластинка хранит массу деталей, относящихся к определенному множеству явлений, зарегистрированных камерой в короткий промежуток времени. С другой стороны, вероятно, что мы сохраняем полную запись всех ситуаций, на которые мы обращали кратковременное внимание на протяжении жизни. Имеются указания, что приблизительно 50 миллисекунд проходит между различимыми восприятиями. Если имеется одно новое восприятие каждые 50 миллисекунд и если бодрствующий мозг усваивает входящую информацию с постоянной скоростью, то он способен изменять связи между нейронами свыше 10^6 раз за день. Если так, то общее число за всю жизнь должно иметь порядок 10^{10} и поэтому сравнимо с общим числом нейронов коры (и, возможно,

¹ J. S. Pringle, «Behaviour», 3, 1951, 174—215.

² С другой стороны, согласно У. Торпу (W. H. Thorpe, Learning and Instinct in Animals, London, 1956, p. 151), молекулярная теория особенно привлекательна для тех, кто имеет дело с мозгом насекомых. Мозг насекомых так мал, что трудно представить себе существование внутри него необходимого числа цепей, требуемых теорией обратной связи (reverberatory trace theory). «Что мы должны делать с мозгом пчелы весом в 2,5 миллиграмма, имея в виду его изумительные качества? Нынешнее знание поведения и неврологии пчел действительно предполагает, что перепончатокрылые *должны* использовать некоторые клеточные или внутриклеточные свойства, возможно не имеющиеся у позвоночных».

³ W. M. Elsä s s e r, The Physical Foundation of Biology, London, 1958, p. 130.

¹ D. M. M a c k e y, «Annals of Human Genetics», 23, 1959, 462.

² В теории информации термин «бит» (производный от binary digit — двоичная цифра) используется как удобная мера информации следующим образом. Если имеется N возможных и равновероятных исходов данной ситуации, каждая соответствующая двойной (да или нет) альтернативе, информация, требуемая для осуществления данной альтернативы, измеряется в $\log_2 N$ бит. Например, если мы выбираем определенную карту из колоды в шестнадцать карт, мы можем сначала разделить колоду на две половины. Если мы выбираем нужную половину (содержащую карту), мы можем разделить и ее таким же образом, и т. д. Мы получим нужную карту после четырех правильных выборов: требуются четыре бита информации в соответствии с формулой.

даже немного больше). Более того, как подтверждено электрическим зондированием Пенфилда, события, регистрируемые за любой отрезок времени, всегда вспоминаются точно в таком же порядке, в каком они происходили. Несмотря на непрерывный «шум», этот временной порядок сохраняется точно, а не просто статистически. Учет огромного количества деталей, которые должны удерживаться в этом точном хронологическом порядке, едва ли является «относительно умеренным» требованием, предъявляемым к фотографической пластинке, особенно учитывая, что, несмотря на ее способность совокупного удержания оптических образов, она не может регистрировать временную последовательность как таковую.

При настоящем состоянии знания мы поэтому вынуждены сделать вывод, что, хотя как безусловные, так и условные рефлексы могут представлять чисто «механические» цепи обратной связи и хотя ближайшие непосредственные воспоминания также могут сохраняться благодаря процессам, аналогичным динамической циркуляции памяти в больших вычислительных машинах¹, ни одна из многих существующих остроумных теорий не смогла показать, как наша способность к долговечной памяти может быть объяснена с помощью механических или химических понятий².

¹ Тем не менее до сих пор не найдено никакого неврологического объяснения часто встречающимся транспозиционным ошибкам ближайших воспоминаний. Фактически далеко не ясно, как определенная картина нейронного возбуждения может утратить свой первоначальный порядок последовательности и приобрести другой. Р. Конрад (R. Conrad, «Brit. J. PsychoU, 50, 1959, 349—359») полагает, что, так как временные схемы условных рефлексов по необходимости жестко сохраняются, ближайшие воспоминания не могут быть обусловлены тем же типом механизма.

² Идея, что долговременная память отличается по «механизму» от ближайшей непосредственной памяти, получила сильную поддержку со стороны Д. Э. Бродбента (D. E. Broadbent, Perception and Communication, London, 1958, ch. 9).

Новая немеханическая гипотеза недавно была предложена Н. Маршаллом (N. Marschall, «Brit J. Phil. Sei.», 10, 1960, 265—286). Он утверждает, что в то время как кратковременные воспоминания могут быть обусловлены «реверберацией», долговечные воспоминания обусловлены «резонансом» настоящих состояний мозга с прошлыми. Эта теория основана на гипотезе, что для временной структуры в части коры, которая похожа на предшествующую структуру (необязательно в той же части коры), имеется

11. ВРЕМЯ, ПАМЯТЬ И ТОЖДЕСТВО ЛИЧНОСТИ

С давних пор считалось, что память и тождество личности неотделимы. Например, согласно Плотину, са^{*}мосознание является основой памяти¹. Память представляет средство, благодаря которому запись нашего исчезнувшего прошлого существует «внутри» нас, и в этом заключается основа нашего сознания самостождественности. Если предположить, что все наше прошлое, таким образом, продолжает существовать бессознательно, хотя только малая его часть когда-либо сознательно припоминается, то почему мы *полностью* теряем память о событиях раннего детства? Фрейд, который первый рассмотрел эту проблему, постулировал подсознательного «цензора», изымающего из сферы сознания все воспоминания «инфантильной сексуальности». Более общий и, как я полагаю, более убедительный ответ дал впоследствии Э. Шахтель². Он утверждает, что детская амнезия возникает из-за замедленного развития концептуальных и конвенциальных схем памяти, которые, как мы уже увидели, необходимы для сознательного припоминания³.

Таким образом, еще раз обнаруживается, что память в сущности соотносится с тем, что Сюзанна Лангер

автоматическая тенденция, приблизительно аналогичная резонансным свойствам настроенных камертонов и осциллирующих токов, походить на предыдущую структуру все больше и больше. Маршалл показывает, что факты обучения и травматической амнезии можно объяснить, если мы предположим, что структура, которая продолжает некоторое время ревербировать в мозге, будет представлять лучший объект для последующего резонанса, чем если бы она появлялась только на мгновение. Хотя эта теория интересна, она не может считаться достаточной. Самое большее, она может объяснить припоминающую память, но она не может объяснить удерживающую память, которая проявляется, например, при произвольных «вспышках прошлого», вызываемых электродом нейрохирурга.

¹ Плотин, Энеиды, IV.

² E. G. Schachtel, «Psychiatry», 10, 1947, 1—26.

³ Д. О. Хебб также указывал, что, согласно мозговому ритмам на электроэнцефалограммах, корковые процессы сознания у младенцев отсутствуют. «Некоторые авторы, особенно по психоанализу, ломали себе голову над потерей памяти о событиях

называет *человеческой способностью символического преобразования опыта*. Как она сама предположила, происхождение понятия «я», которым, как обычно думают, отмечено появление действительной, то есть сознательной памяти, может значительно зависеть от процесса сокращения наших ощущений в символы. «Чтобы соотносить наши ощущения с внешними объектами, надо прежде всего превратить их в символы и тем самым представить себе эти ощущения»¹. Однако обычно символ совершенно отличается по природе и по виду от вещи, которую он представляет. Здесь, я считаю, мы имеем ключ к пониманию любопытного факта-, что, по-видимому, все связанные с памятью (как непосредственной, так и долговременной) следы в мозге (статичные или динамичные, локализованные или распределенные) резко отличаются от того, что первоначально вызвало их: какой бы ни подразумевался физиологический механизм, *мнемонический след представляется нам как символ*². Более того, сам мозг при научном изучении также превращается в символ, ибо его аналитическое описание зависит от того, что Рассел Брэнн рассматривал как «абстрактные и символические термины нейрофизиологии»³. «Одна вещь несомненна, — писал Декарт, — я знаю себя как мысль, и я, безусловно, не знаю себя как мозг».

Это часто упускается из виду теми, кто желает отождествить ум и мозг. На деле это отождествление никоим образом не очевидно⁴. Не все события в мозге

детства... Новорожденный не обладает сознанием и только постепенно приобретает его в первые пять или десять месяцев жизни» (D. O. Hebb, A Textbook of Psychology, Philadelphia, 1958, p. 97).

¹ Suzanne Langer, Philosophy in a New Key, 3rd edn., Cambridge, Mass., 1957, p. 124.

² Эта интерпретация проливает свет на озадачивающий факт, на который обратил внимание физиолог У. Ризе (W. Riese, op. cit., p. 133), что, как обнаружилось, признание *символической* природы мысли и ее лингвистического выражения «обещает большее проникновение в динамику речевых дефектов, происходящих при повреждениях мозга, чем их описание только в физиологических терминах чисто моторного или сенсорного типа».

³ W. Russell Brain, The Contribution of Medicine to Our Idea of the Mind (Rede Lecture), Cambridge, 1952, p. 22.

⁴ В частности, для иллюстрации несводимости ума к мозгу упоминаются два явления: наше переживание страдания и тот факт, что, согласно Дарвину, «мысль, что другие думают о нас, застав-

представляют собой психические события, и сознание связано только с некоторыми нервными волокнами, а не со всеми. Ибо, если бы входной стимул был задержан еще до того, как он достиг коры мозга, мы никогда бы не узнали об этом. Если, однако, мы отказываемся от взгляда, что ум и мозг представляют только два различных аспекта одного и того же, только два различных образа высказывания о функционировании мозга, и полагаем, что мозг существует как материальный объект в физическом пространстве, а ум нет, то как могут, они взаимодействовать?

, Эта загадка заставила многих философов отвергнуть картезианское понятие ума как «the ghost in the machine» («духа в машине»), цитируя знаменитую метафору Райла, и вместо этого попытаться объяснить ум исключительно в терминах мозга и поведения. Часто утверждалось, что сознание представляет простой эпифеномен мозга, так как в принципе возможно изобрести машину, по своим действиям напоминающую нас. Но такая машина должна быть запрограммирована, и если бы это сделала другая машина, то потребовалась бы третья машина, чтобы запрограммировать вторую, и так до бесконечности¹. С другой стороны, недавняя попытка объяснить психо-физический параллелизм как следствие взаимодействия в некоторой части коры мозга сделана физиологом Дж. К. Экклсом². Более радикальная гипотеза развита психологом Дж. Р. Смайтисом³, который считает, что ум расположен в пространстве, имеющем более чем три измерения. Смайтис постулирует, что мозг и ум занимают различные трехмерные

ляет нас краснеть». Ибо без *осознания* не было бы никакого страдания, и мы краснели бы, возможно, только из-за того, что *вниманье* может влиять на капиллярное кровообращение.

¹ Как сказал Сирил Хиншелвуд в своем президентском адресе на ежегодном собрании Королевского общества в 1959 году (Cyril Hinshelwood, «Proc. Roy. Soc.», A., 253, 1959, 447), «человеческий мозг в своих высших функциях запрограммирован не другими механизмами, но эстетическими и моральными элементами, которые как-то присутствуют в сознании, элементами, которые, иначе говоря, представляют сторону реальности, связанной скорее с наблюдателем, чем с наблюдаемым».

² J. C. Eccles, The Neurophysiological Basis of Mind, Oxford, 1953, p. 276 и след.

³ J. R. Smythies, «J. Soc. Psychical Res.», 36, 1951, 477—502; Analysis of Perception, London, 1956.

подпространства этого гиперпространства, хотя возможно, что они могут обладать одним и тем же измерением времени.

Смайтис считает, что ум пространственно протяжен. В противном случае не было бы основания для введения им добавочных пространственных измерений. Я думаю, что это не является обязательной гипотезой; мы должны стараться избегать введения пространственных измерений *praeter necessitatem*. Вместо этого мы должны подчеркнуть тот факт, что в силу материальности мозга он существует как в трехмерном физическом пространстве, так и во времени, тогда как ум, проявляющийся только в сознании, существует только во времени: он целиком является «процессом», а не «вещью»¹. Следовательно, мозг и ум могут взаимодействовать только во времени, и, следовательно, это взаимодействие должно происходить мысленно. Мы должны представить и символически изобразить это взаимодействие как психический процесс.

Могут возразить, что я путаю взаимодействие ума и мозга с нашим размышлением об этом взаимодействии, но, по моему мнению; взаимодействие действительно происходит как в сознательном, так и в бессознательном мышлении, подобно взаимодействию между звуком (в уме) и соответствующей музыкальной партитурой (на бумаге). Основная трудность при обсуждении этой проблемы заключается в том, что ум, память и время являются самосоотносящимися понятиями и при их анализе мы уподобляемся человеку, пытающемуся поднять себя за волосы.

Ум, в сущности временной по своей природе, подобен мелодии. Более конкретно: ум должен рассматриваться как процесс интеграции, консервации и модификации тождества личности, имеющего протяжение и локализацию во времени, но не в пространстве, хотя он имеет область влияния, наиболее сильного в окрестностях данного мозга, с которым его обычно связывают. Однако эта область влияния может иногда простираться значи-

тельно шире, что доказывают общепризнанные в настоящее время данные телепатии. В атомной физике мы стали использовать идею неопределенности пространственной локализации материальных объектов. Возможно, что и в случае ума мы сталкиваемся, с чем-то подобным, хотя совсем в другом масштабе (и, по-видимому, это никоим образом не связано с постоянной Планка). Как бы то ни было, согласно имеющимся данным, недостающее звено между психологическими и физиологическими аспектами деятельности мозга и тождества личности следует искать не в каком-то гипотетическом гиперпространстве, но скорее во временном измерении».

¹ В связи с этим интересно сравнить замечание Канта о «местонахождении души», цитируемое Чарлзом Шеррингтоном в его гиффордской лекции (Charles Sherrington, *Man on his Nature*, Pelican ed., London, 1955, p. 206), что «нельзя приписать пространственного отношения тому, что определено только во времени» (I. Kant, *Säramtl. Werke*, 1839, vol. 10, p. 112); точно так же *mutatis mutandis* утверждение Бергсона (А. Бергсон, *Материя и память*, стр. 22), что «различие между телом и умом надо формулировать в терминах не пространства, а времени». По его мнению, функция мозга — не породить психическую деятельность, но канализовать ее.

¹ Даже с точки зрения тех, кто желает свести умственные процессы к нейрофизиологии, «ум представляет комплексное взаимодействие различных частей мозга, не локализуясь ни в одной из них» (D. O. Hebb, *A. Textbook of Psychology*, Philadelphia and London, 1958, p. 84).

III. М а т е м а т и ч е с к о е в р е м я

I. ВРЕМЯ И ЧИСЛО

Абстрактное математическое представление о времени как о геометрическом месте точек — так называемое «сведение времени к пространству», представляет собой одно из наиболее фундаментальных понятий современной науки. Его психологической основой является наша интуитивная концепция одномерного времени. Инстинктивное признание нами этого свойства линейности, возможно, обусловлено упомянутым выше фактом, состоящим в том, что, строго говоря, мы можем сознательно следить во времени только за одной вещью и что мы не в состоянии делать это достаточно долго, не отвлекая своего внимания. Наше представление о времени непосредственно связано, таким образом, с нашей «цепью мыслей», то есть с тем фактом, что процесс мышления имеет форму линейной последовательности. Однако эта линейная последовательность состоит из дискретных актов внимания. Поэтому первоначально время более естественным образом связывается со счетом, а следовательно, с числом, чем с линейным континуумом геометрии. Мы уже подчеркивали большое значение ритма в развитии представления о времени. Поскольку процесс счета является наиболее простым из всех ритмов (он представляет собой ряд единиц, каждая из которых рассматривается как в точности подобная предыдущей и которые можно совершенно свободно сочетать в группы), мы можем приписать способность формировать числа элементарному ритму внимания. И, конечно, не случайно, что слова «число» и «ритм» в древнегреческом языке — ἀριθμός; и ρυθμός? — образованы от общего корня *petv* —течь,

На особенно тесную связь между временем и процессом счета! указывали как философы, изучавшие проблему времени, так и философы, специализировавшиеся в области основ математики. Например, Аристотель, стараясь установить различие между временем и движением, подошел весьма близко к сведению времени к числу. С другой стороны, Л. Брауэр при разработке в первом двадцатилетии нашего века своей известной «интуиционистской» теории математики основывал свое построение натуральных чисел на концептуальной множественности интервалов времени, которое он рассматривал как первичную интуицию человеческого ума. Доктрина Брауэра восходит к философии Канта, который утверждал, что «арифметика производит свои числовые понятия через последовательное прибавление единиц во времени»¹. Хотя Кант и не рассматривал арифметику как науку о времени, подобно геометрии, которую он считал наукой о пространстве, поскольку арифметические отношения не зависят от времени, он все же полагал, что как пространство, так и время представляют собой всеобщие формы нашей интуиции или нашей способности постижения явлений и, следовательно,

¹ Недавние эксперименты, посвященные доязыковой способности птиц «считать», обнаружили, что эта связь на самом деле имеет глубокие корни. Так, имеется доказательство, что способность птиц «считать про себя», которая, как было показано О. Кёлером («Bull. Animal Behaviour», № 9, March, 1951, 41—45), является скрытой способностью птиц, основана на памяти о ряде предыдущих действий, совершенных последовательно во времени. Галка, приученная открывать подряд одну за другой крышки кормушек, в которых она получала пять порций пищи, находила одну порцию в первой кормушке, две во второй и одну в третьей. Затем она шла обратно в свою клетку, однако позднее возвращалась к кормушкам, заглядывала один раз в первую, дважды во вторую и один раз в третью. После этого она открывала четвертую кормушку и, не найдя в ней ничего, переходила к пятой и извлекала из нее единственную порцию. Остальные кормушки она оставляла нетронутыми. Стремление «нагнаться» сначала над первыми тремя кормушками указывает, по-видимому, что птица «считала», вспоминая свои прежние действия.

Что касается людей, то известный математик и молниеносный вычислитель профессор А. Айткен свидетельствует, что когда он производит в уме арифметические действия, то он почти ничего наглядно не представляет, однако «ритмико-слуховой импульс в это время весьма силен» (А. С. Aitken, «The Listener», 62, 19th November, 1959, p. 885).

² И. К а и т, Прологомены, Соцэкгиз, 1934, стр. 148.

являются *априорными*, или врожденными, свойствами человеческого разума. Поэтому какое-либо изменение наших представлений о пространстве и времени является, по его мнению, не только ненужным, но и «немыслимым». Хорошо известно, что, с точки зрения Канта, пространство, по существу, является единственным и евклидовым, даже если оно присуще не самой природе, а скорее только нашим представлениям о ней. Аналогично время тоже должно быть единственным, хотя Кант — философ, известный туманностью своей терминологии, — видимо, явно не высказался по данному вопросу.

Весьма оригинальная теория пространства и времени Канта произвела глубокое впечатление на одного из величайших математиков первой половины XIX столетия Уильяма Роуана Гамильтона, который спустя примерно тридцать лет после смерти Канта прочел доклад перед Королевской ирландской академией, где утверждал, что, поскольку существует геометрия — чистая математическая наука о пространстве, должна существовать также и чистая математическая наука о времени, и что такой наукой должна быть алгебра¹. Неудовлетворенный формалистическим подходом Пикока, который рассматривал алгебру как «систему знаков и их комбинаций», Гамильтон требовал более «реального» ее обоснования. Он искал это обоснование в нашем интуитивном понимании времени, но цель его заключалась скорее в том, чтобы вывести алгебру из этого интуитивного понимания, чем в том, чтобы использовать алгебру для разъяснения последнего. Он исходил из трех фундаментальных принципов: (1) понятие времени связано с существующей алгеброй; (2) понятие о времени или интуитивное понимание времени может быть развито в независимую чистую науку; (3) наука о чистом времени, разработанная таким образом, совпадает и тождественна с алгеброй, коль скоро последняя является наукой. Однако если алгебра должна основываться на времени, которое Гамильтон рассматривал как одномерный континуум точечных мгновений, то, когда мы переходим к рассмотрению корней уравнений второй степени, возникает трудность истолкования мнимых корней квадратного уравнения. Научная статья Гамильтона в основном

¹ W. R. Hamilton, «Trans. Roy. Irish. Acad.», 1833—1835.

посвящена его попытке преодолеть эту трудность с помощью предложенной им теории пар-моментов ($A \setminus, AZ$) где L есть первичный момент, а A_2 — вторичный, независимо от того, следует ли L_2 за первичным моментом, предшествует ему или совпадает с ним. Исходя из этой концепции, он разработал алгебраическую теорию пар чисел, которая привела к алгебраической (отличной от геометрической) концепции комплексных чисел, содержащих квадратный корень из минус единицы. В конце своей второй статьи, посвященной этой теме, он ссылается на статьи Грейвза о логарифмах комплексных чисел и в заключение дает следующее красноречивое обоснование своей точки зрения. «Однако, поскольку г-н Грейвз в своих рассуждениях использовал обычные принципы, касающиеся комплексных величин, и удовлетворился доказательством символической необходимости, не приводя никакого истолкования и не раскрывая внутренней сущности своих формул, данная теория пар публикуется с целью выявить их скрытое значение и показать этим замечательным примером, что выражения, которые представляются, согласно обычным воззрениям, только символическими и совершенно неистолковываемыми, могут войти в мир мышления и обрести реальность и значение, если алгебра будет рассматриваться не только как простое искусство или язык, но и как Наука о Чистом Времени».

Хотя квадратный корень из минус единицы не являлся числом в традиционном смысле, он подчинялся всем формальным алгебраическим правилам для классических чисел и был поэтому скорее новой арифметической сущностью, чем элементом новой алгебры. Алгебраические исследования Гамильтона достигли, однако, своего кульминационного пункта восемь или девять лет спустя, когда он сделал известное открытие квартернионов, первого примера некоммутативной алгебры. Таким образом, окончательным итогом его хода рассуждений было следующее открытие: алгебра не единственна. Эту точку зрения было весьма трудно примирить с кантовской концепцией относительно природы алгебры, которая разделялась им самим, что и явилось весьма мощным аргументом в пользу формалистической философии математики, против которой он был столь решительно настроен. Что касается, в частности, точки зрения Гамиль-

тона на связь алгебры с понятием времени, то окончательный приговор ее был вынесен пятьдесят лет спустя крупным алгебраистом Кэли в его президентском адресе к Британской Ассоциации в 1883 году. Отметив, что Гамильтон употреблял термин «алгебра» в весьма широком смысле, так что в нее включалось и дифференциальное исчисление, он заявил, что не может признать связи алгебры с понятием времени. «Я пошел бы дальше, — сказал он, — понятие непрерывного изменения является очень фундаментальным понятием, оно составляет основу исчисления флюксий (если не-всегда, то в дифференциальном исчислении), оно имеется или подразумевается в чистой математике, и можно сказать, что изменения любого рода происходят только во времени; однако мне кажется, что изменения, которые мы изучаем в математике, в большинстве случаев рассматриваются совершенно независимо от времени. Мне представляется, что в математике нет понятия времени, пока мы не привнесем его туда».

В том же году в своей фундаментальной работе о смысле математического континуума Георг Кантор утверждал, что мы не можем приступить к определению этого понятия, ссылаясь только на представление о времени или только на представление о пространстве, так как сами эти представления могут быть ясно объяснены только с помощью понятия континуума, которое должно быть простым и не должно от них зависеть¹. Поэтому философ-неокантианец Эрнст Кассирер переистолковал кантовскую теорию арифметики как изучение «рядов», находящихся конкретное выражение во временной последовательности. Он утверждал, что сам Кант сначала искал «трансцендентальное» определение времени как прототип упорядоченной последовательности и считал, что основанием логических понятий последовательности и порядка, из которых можно вывести законы арифметики, является не наше интуитивное понятие о времени, а, напротив, наше представление о времени неявно зависит от этих понятий.

Эта точка зрения была отвергнута Брауэром, который вслед за Кронекером критиковал Кантора и возвратился к первоначальной точке зрения Канта на время, хотя и отрицал теорию пространства последнего. К концу XIX

¹ См. Г. Кантор, Основы общего учения о многообразиях, в сб. «Новые идеи в математике», СПб., 1914, вып. 6.

столетия философы и математики резко разошлись во мнениях по отношению к открытию (примерно через двадцать лет после смерти Канта) неевклидовой геометрии Лобачевским и независимо от него Бойяи. Хотя ученые вообще продолжали рассматривать Евклидову геометрию как единственную форму физического пространства, чистые математики считали, что другие геометрии являются «мыслимыми», то есть логически допустимыми, тогда как философы отрицали это. Признание этих других геометрий значительно усилило позиции формалистов в их споре с интуиционистами по вопросу о природе чистой математики. Тем не менее в своей знаменитой лекции, прочтенной им в Амстердаме в 1913 году, Брауэр утверждал: «Какими слабыми ни казались позиции интуиционизма после этого периода развития математики, он укрепил их, отказавшись от кантовской априорности пространства и более решительно признав априорность времени¹. Брауэр считал, что «моменты жизни, распавшиеся на качественно различные части, должны быть воссоединены, если их разделяет только время»; иными словами, физиологический факт, состоящий в том, что наш разум оперирует с помощью последовательных актов внимания, есть фундаментальное явление человеческого ума, которое в результате процесса абстрагирования составляет основу всего математического мышления — «интуицию чистой двуединости». При повторении этот процесс приводит к образованию всех конечных чисел, а бесконечное повторение позволяет образовать сколь угодно малую конечную величину ш. Это же фундаментальное интуитивное понимание дает начало «интуитивному пониманию линейного континуума, то есть отношения «между», которое нельзя исчерпать путем введения между числами новых единиц, и поэтому его нельзя считать только совокупностью единиц». Брауэр сделал следующий вывод: «Таким образом, априорность времени квалифицирует как синтетические, априорные суждения не только свойства арифметики, но и свойства геометрии, причем не только элементарной, двух- или трехмерной геометрии, но также неевклидовых и n-мерных геометрий. Ибо со времени Декарта мы научились сводить все эти геометрии к арифметике с помощью метода координат».

¹ L. E. J. Brouwer, «Bull. Amer. Math. Soc.», 20, 1913, 85.

Последние пятьдесят лет показали, что интуиционистам удалось защитить свои позиции от критических атак как формалистов, так и тех, кто рассматривает математику как один из разделов логики. Брауэр и его последователи основное внимание уделяли проблемам, связанным с природой чистой математики и ее основаниями, но их достижения все более настоятельно ставят перед нами вопрос о проверке фундаментального, с их точки зрения, предположения об априорности времени. Мы можем здесь руководствоваться критическим анализом кантовской доктрины пространства, который был осуществлен Гельмгольцем. Гельмгольц указал, что¹ эту доктрину можно разделить на две части: 1) пространство есть чистая форма интуиции; 2) Евклидова геометрия есть единственно возможная наука о пространстве и справедлива априори. Он считал, что второе положение не является необходимым следствием первого, а фактически отрицает его. Однако Гельмгольц принимал первое положение, хотя, по его мнению, из него нельзя сделать никаких выводов, кроме того, что все вещи в природе обладают пространственной протяженностью¹. Можем ли мы принять подобное отношение к кантовской доктрине времени? Для достижения цели, которую ставил перед собой Брауэр, необходимо лишь предположить, что время есть «чистая форма интуиции» в обычном смысле этого слова, согласно которому наш опыт характеризуется временным следованием, основанным на двухчленном отношении: до — после. Нет необходимости принимать точку зрения Канта, согласно которой приписывание временных характеристик вселенной как таковой неизбежно приводит к логическим антиномиям и что время поэтому является не чем иным, как формой нашего внутреннего ощущения.

2. ВРЕМЯ, ГЕОМЕТРИЯ И ПЕРЕМЕННАЯ

Как подчеркивалось Кантом и Брауэром, интуиционистская точка зрения связана с идеей времени и с

¹ Н. Heimholtz, Wissenschaftliche Abhandlungen, Bd. II, S. 643.

идеей математической «конструкции». Действительно, связь идей математического построения и времени привела Брауэра даже к отрицанию логического принципа «исключенного третьего», по крайней мере применительно к идее математического существования. Для Брауэра существование математических сущностей и возможность их построения являются синонимами, и эта частная теорема «не истинна и не ложна до тех пор, пока у нас нет конструктивного метода для решения этого вопроса. С другой стороны, формалистические и логистические философские направления в математике основаны на вере в безвременной характер математического существования». Эта математическая идея может рассматриваться как конечный результат развития той линии мышления, которая началась с Платона.

Платоновская философия формы была основана на критическом анализе пифагорейской философии числа. Согласно Пифагору и его школе, сущность вещей следует усматривать в числе. Однако числа представляются геометрически в виде «точек» или единиц, имеющих определенное положение. Кроме того, многие более мощные математические средства, которые используются для получения численных результатов, являются геометрическими по своему характеру. Чисто арифметическая техника счета была не только менее мощной, то есть менее общей, чем геометрический метод, в силу полного отсутствия в ней чего-либо соответствующего современной алгебраической символике, но и приводила к известным трудностям. Например, несоизмеримость диагонали квадрата единичной площади. Эти трудности можно было бы преодолеть с помощью кинематического метода или метода флюксий, метода движущихся точек и линий, согласно которому точка размывается в линию и т. д., однако Платон находился под слишком сильным влиянием аргументов Парменида и Зенона (см. параграфы 4 и 5 настоящей главы), что помешало ему принять этот метод. Напротив, он очистил пифагорейскую математику от ее «арифметического» содержания. Последнее связывалось с временем, процессом и порождением, так как в более строгом смысле пифагорейцы считали, что числа порождаются непрерывным прибавлением «одного, или арифметической единицы». (Их теория единицы и диад весьма похожа на теорию Брауэра.) Поэтому, хо-

тя Платон и рассматривал время как существенную черту чувственно воспринимаемого мира, он строго исключал его из чистой геометрии как науки, которую он ассоциировал с и только с вечным миром идеальных форм. В результате он был решительно против математического «построения». В известном отрывке своего сочинения «Государство» он выражает недовольство математиками, которые постоянно «говорят очень смешно и подчиняются необходимости; ибо как будто *делая* что-нибудь и для дела повторяя все свои термины, построим, говорят, четырехугольник, проведем или проложим линию, и издадут все подобные звуки, между тем как целая эта наука назначается для знания... назначается всегда она для знания существенного, а не для того, что бывает и погибает»¹.

Совершенно ясно, что возражения Платона против математических «построений» обусловлены его неприязнью к введению временных соображений в чистую геометрию, чем объясняются также его весьма странные настоятельные утверждения о недопустимости так называемых «механических решений» известных проблем квадратуры круга, трисекции угла и удвоения куба. Часто утверждают, что его возражения были направлены против практического использования реальных механических инструментов, однако этот аргумент в том виде, как его обычно выдвигают, теряет смысл, так как, например, Кэджори показал, что Платон отрицал искусные решения Архита, Евдокса и Менехма, потому что «они требуют применения и других инструментов, кроме линейки и циркуля»². Разве возражения против использования механических инструментов не нужно распространить на все без исключения? Решающее значение для Платона, как это мне представляется, имело следующее различие: если деление угла пополам связано с некоторым расположением прямых линий и дуг окружности, которое может считаться *статическим*, то есть безотносительно ко времени, то трисекция угла в том виде, как она была выполнена Гиппием, представляла собой построение, содержащее *движущуюся* конфигурацию ли-

ний и, следовательно, зависела от рассмотрения времени.

В решении Гиппия кривая, известная под названием «квадратриса», которой также пользовались при попытках вычислить квадратуру круга, строилась следующим образом. Сторона AB квадрата $ABCD$ равномерно поворачивается вокруг точки внутри прямого угла A к стороне AD . В это же время смежная сторона BC равномерно скользит между AB и CD так, что достигает стороны AD в тот же самый момент времени, что и AB . Кривая BEF — *квадратриса*, порождаемая точкой их пересечения, обладает следующим свойством: длина перпендикуляра, опущенного из любой ее точки на прямую AD , пропорциональна углу между AD и прямой, соединяющей точку A с данной точкой. (Это можно наглядно видеть при движении кулисного механизма.) Для того чтобы разделить на три части угол EAD , достаточно разделить на три части линию

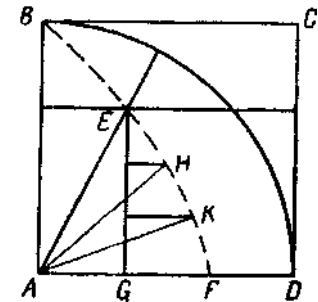


Рис. 1.

EG и затем провести из точек деления прямые, параллельные AD , так, чтобы они пересекли квадратрису в точках H и K . Линии AH и AK делят угол на три равные части (рис. 1).

Существенными особенностями этого построения являются равномерность движения и совпадение моментов начала и завершения движения. В том виде, в каком его изложил автор, оно представляет собой явно кинематическое построение. Хотя Платон считал, что эта геометрия движения, или порождающая геометрия, неприменима в мире идеальных фигур, греческие математики, особенно Архимед в своей книге «О спиралях», исследовали чисто геометрические свойства кривых, определенных кинематически. Более того, кинематическая геометрия применялась учеником Платона Евдоксом для анализа движения планет, где он, по всей вероятности, опирался на элементарные попытки пифагорейцев, которые были пионерами в этом деле. Это соединение геометрии движения с астрономией представляло

¹ Платон, Соч., ч. III, СПб., 1863, стр. 372.

* Ф. С а j o g i, A, History of Mathematics, New York, 1919, p. 27.

собой одно из наиболее оригинальных и перспективных достижений древнегреческой мысли. Две другие античные цивилизации, которые осуществили наиболее глубокие исследования в области математической астрономии (Вавилонская, времени Селевкидов и майя Центральной Америки), разработали только арифметическую методику.

Аристотель, несмотря на свой глубокий интерес к проблемам движения и изменения, настаивал на строгом разделении математики и физики. Тем не менее в седьмой книге «Физики» содержатся пространные рассуждения о равномерном движении, где время рассматривается так, как если бы оно являлось геометрической величиной, аналогичной пространству, и так же, как и последнее, было бесконечно делимо. Действительно, в этой главе имеется много проявлений его геометрической точки зрения (в частности, Аристотель обозначает интервал времени так же (например, ZH), как греческие геометры обозначали отрезок прямой), хотя его рассуждения гораздо менее строги, чем математические доказательства в трудах Архимеда.

Недавно Маршалл Клэджет¹ обратил внимание на то, что греческие геометры, изучавшие движение, были склонны давать скорее сравнительные, чем метрические определения, сравнивая либо *расстояния*, проходимые при двух равномерных движениях за одни и те же (по предположению) времена, либо *времена*, за которые проходились одинаковые (по предположению) расстояния. Эти сравнения являлись истинными пропорциями в евклидовом смысле, поскольку они проводились между величинами, имеющими одну и ту же природу. Следовательно, вряд ли кто из греческих авторов пришел к пониманию скорости как числа или величины, выражающей отношение двух различных величин: расстояния и времени.

Самым старым из известных нам кинематических трактатов Латинского Запада является «Книга о движении» («Liber de Motu») Жерара Брюссельского, малоизвестного геометра первой половины XIII века. В этой любопытной работе, хотя в ней и не определяется скорость как отношение различных величин, он предпола-

гает, что быстроту движения можно определить некоторым числом или количеством, которые не являются ни расстоянием, ни временем¹. Этот трактат, написанный в то время, когда достижения греческой геометрии только стали получать широкую известность на Латинском Западе, изобилует элементарными математическими ошибками. Тем не менее в следующем столетии он оказал большое влияние на философскую школу Мертонаского колледжа в Оксфорде, возбудив у нее интерес к изучению кинематики неравномерного или ускоренного движения. Современное понятие ускорения, которое мы теперь считаем необходимым для формулировки динамики, грекам никогда даже в голову не приходило, не говоря уже о его обсуждении или анализе².

Схоласты XIV-столетия, искавшие это понятие, которое до разработки дифференциального исчисления было очень трудно сформулировать, находились в исключительно затруднительном положении из-за отсутствия алгебраической символики. Их рассуждения были чисто словесными и утомительно пространными, тем не менее они привели к одному из величайших достижений в познании, которое когда-либо было сделано.

Для того чтобы правильно сформулировать кинематическое понятие ускорения, необходимы были два других представления: 1) представление о времени как о *независимой* переменной и представление о пространстве как о *зависимой* переменной; 2) представление о мгновенной скорости.

Общее математическое понятие переменной было постепенно сформулировано поздними схоластами после великого осуждения философии Аристотеля в 1277 году Темпье, епископом Парижским, и Килуордби, архиепископом Кентерберийским. Мы уже видели, что Аристотель строго разграничивал математику и физику, считая, что первая занимается «вещами, которые не включают в себя движения», а вторая — вещами, которые его в себя включают. Кроме того, поскольку в земных

¹ Marshall Clagett, op. cit, p. 152.

² Первая явная трактовка ускорения в смысле движения, которое становится все быстрее и быстрее, была, по-видимому, дана Стратоном из Лампсака, ставшего во главе Ликеев в 287 году до н. э. Однако его трактовка не была удовлетворительной, поскольку он не имел четкого представления о мгновенной скорости.

¹ Marshall Clagett, «Osiris», 12, 1956, 77.

движениях в отличие от небесных не проявляется общей равномерности, физическое движение рассматривалось не как «количество», а скорее как «качество», которое не возрастает и не уменьшается при сложении¹. Иоанн Дуне Скот, который умер в 1308 году, одним из первых порвал с этой традицией и занялся рассмотрением общей проблемы изменчивости качеств, или «широты форм», как ее называли. Эта проблема возникла из необходимости объяснить наблюдаемый факт изменения интенсивности качеств вопреки аксиоматическому принципу Аристотеля о неизменности субстанциальных форм. Например, если мы увеличиваем или уменьшаем интенсивность луча света, то его яркость становится большей или меньшей, тогда как его природа остается прежней, к ней ничего не добавляется и из нее ничего не вычитается, поскольку это свет сам по себе. Следовательно, интенсивность есть форма, или внутреннее свойство, света. Термин *широта* (*latitudo*), обозначавший область, в которой может изменяться интенсивность качества, был, по-видимому, введен несколько более ранним философом Анри Гентским, который умер в 1293 году. В 1227 году он был одним из советников епископа Темпье. Согласно Анри Гентскому, «интенсивность» (*intensio*) качества состоит в приближении к определенной границе, на которой качество достигает своего полного совершенства². Иоанн Дуне Скот и его последователи считали, что возрастание интенсивности происходит путем сложения, соответствующей аналогией которого будет не сложение камня с камнем, а воды с водой; новое индивидуальное качество, образуемое путем такого сложения, содержит в себе предыдущее³. Уильям Оккам (умер в 1349 году) и номиналисты в рассмотрении интенсивности как аддитивного возрастания вообще следовали Иоанну Дунсу Скоту, и внимание сосредоточили* лось на следующей логической проблеме: как назвать предмет, в котором интенсивность качества меняется от одной точки к другой. В математике эта проблема оказалась частным случаем другой, а именно проблемы опи-

¹ P. Duhem, *Etudes sur Leonard de Vinci*, vol. III, Paris, 1909, p. 314—316.

² Anneliese Meier, *Das Problem der intensiven Grosse in der Scholastik*, Leipzig, 1939, S. 10, 27—29.

³ Там же, стр. 32—38, 45—49.

сания различных возможных видов пространственного или временного изменения интенсивности. Термин «широта» стал относиться к конфигурации или частному виду изменения интенсивности в пространстве или времени.

Первым среди математиков в отличие от «диалектиков» идею переменной начал развивать Томас Брэдвардин, чей «Трактат о пропорциях» (*Tractatus de Proportionibus*) был написан в 1328 году. Один современный автор обратил внимание на тот факт, что работа Брэдвардина представляет собой основу современной физики, опирающейся на обручение Галилеем математики и экспериментального наблюдения. «Брэдвардин использовал математику для систематизации и общего выражения теории, Галилей использовал ее для систематического обобщения экспериментальных наблюдений»¹. Работа Брэдвардина заслуживает внимания потому, что он ввел в математику более сложные функции, чем простая линейная пропорциональность.

Среди других ведущих фигур Мертонской математической школы первой половины XIV столетия следует отметить Уильяма Гейтсбери, который определял ускорение как скорость скорости, Джона Дамблтонского и Ричарда Свайнсхеда, получившего прозвище Вычислителя за свой главный труд, который, однако, был посвящен не вычислениям в том смысле, в каком мы понимаем этот термин, а словесной и арифметической теории равномерных и неравномерных скоростей изменения. Точно так же следует упомянуть, что терминам *fluxus* и *fluens*, которые он употреблял в этом контексте, было суждено быть использованными триста лет спустя Ньютоном, говорившим о переменной как о флюэнте, а о степени ее изменения как о флюксии.

Несмотря на успехи мертонианцев, главное математическое достижение в изучении переменной в XIV столетии было сделано во Франции Николаем Оресмом, который родился примерно в 1323 году, а умер в 1382 году, будучи епископом в Лизьё. Один из величайших математиков позднего средневековья, он был выдающимся ученым также в области натуральной фило-

¹ H. Lamar Crosby, *Thomas of Bradwardine*, His «Tractatus de Proporttionibus», Wisconsin, 1965, p. 17.

софии и политэкономии и, несомненно, является одним из наиболее разносторонних умов своего времени. По-видимому, он, первый систематически пользовался дробными показателями степени. Его трактат «О конфигурации качества» («De Configuratione Qualitatum»), написанный, видимо, до 1361 года, заслуживает особого внимания потому, что, следуя греческой традиции, которая рассматривала числа как дискретные, а геометрические величины как непрерывные, автор его отказался от диалектического рассмотрения мертонианцами изменения на языке чисел, а вместо этого связал непрерывное изменение с геометрическим чертежом. Горизонтальная линия (*longitude*) представляла на чертеже протяженность в пространстве или во времени данной формы, свойства или «качества» которой, например цвет, плотность и т. д., следовало определить. Эта линия была разделена на равные отрезки, называвшиеся градусами. Интенсивность, или скорость изменения, с которой форма приобретает качество, была представлена вертикальной линией (*latitude*), имевшей ту же равномерную шкалу, что и соответствующая *longitude*. Когда были начерчены все широты, то линия, проведенная через их вершины, образовывала геометрическую фигуру¹, которую Николай Оресм называл *линейной* конфигурацией рассматриваемого качества².

Труды Николая Оресма также примечательны тем, что они содержат значительные достижения в развитии представления о мгновенной скорости. Он, по-видимому, первый предложил выражать мгновенную скорость изменения прямой линией («*sed punctualis velocitas instantanea est imaginanda per lineam rectam*» — «однако точечная скорость постепенна и представляется только прямой линией») ³. Идея мгновенной скорости решительно отвергалась Аристотелем, и ее удовлетворительное определение было вообще невозможно до

¹ Хотя Оресм, по-видимому, был первым, кто систематически применил графические методы для представления идеи функционального измерения и этим самым сыграл решающую роль в геометризации времени, все-таки он не является автором идеи построения графиков. Наиболее старые из известных нам графиков относятся примерно к X столетию.

² Dana B. Durand, «Speculum», 16, 1941, 174.

³ H. Wieleitner, «Bibliotheca Mathematica» (3), № 14, p. 226.

разработки современной теории пределов. Различие между скоростью как простой величиной, полученной делением расстояния на время ($v = s/t$), и как «мгновенного» качества движения ($v = ds/dt$) в современном представлении было проведено Бравдвардином при рассмотрении динамического движения⁴.

Значение интуитивного представления о мгновенной скорости в дальнейшем повысилось в результате возрождения во Франции физической идеи «движущей силы»; она состояла в следующем: тело, однажды приведенное в движение, будет продолжать свое движение в силу внутренней тенденции, которой оно в этом случае обладает. Эта антиаристотелевская теория, которую можно рассматривать как смутное предвосхищение ньютоновского принципа инерции, восходит еще к Иоанну Филопону (VI век н. э.). Она была возрождена Питером Джоном Олив-и, который умер в 1298 году, и особенно Жаном Буриданом, ректором Парижского университета, умершим примерно в 1358 году.

Несмотря на свои откровенные утверждения о том, что мгновенную скорость следует представлять в виде прямой линии, Николай Оресм следовал Аристотелю, говоря, что каждая скорость продолжает существовать во времени («*omnis velocitas tempore dura-t*» — «всякая скорость длится какое-то время») ⁵. Пытаясь выяснить понятие мгновенной скорости, Николай Оресм утверждал, что чем больше эта скорость, тем большее расстояние будет покрыто, если движение будет продолжаться равномерно с этой же скоростью. Мертонский математик Уильям Гейтсбери говорил то же самое⁶. Хотя и мертонианская школа, и Николай Оресм имели правильное математическое понятие об ускорении, причем время считалось независимой переменной, в решении этой проблемы вплоть до Галилея продолжала существовать большая путаница. Исторически эта путаница восходит к двум определениям понятия «более быстрый», сформулированных Аристотелем: 1) то, что проходит такое же расстояние за меньшее время, 2) то, что проходит большее расстояние за то же

⁴ H. Lamar Crosby, op. cit., p. 44.

⁵ H. Wieleitner, op. cit., p. 225.

⁶ Curtis Wilson, William Heytesbury: Medieval Logic and the Rise of Mathematical Physics, Wisconsin, 1986, p. 21.

время. Последнее исторически вело к ошибочному выводу, согласно которому в естественно ускоряемом движении падения тел скорость возрастает равномерно с расстоянием. Этот вывод так или иначе поддерживали Стратон, Александр Афродизийский, Симплиций, Альберт Саксонский и даже Галилей, до того как он пришел к правильной формулировке¹.

Современные исследования показали, что в области математической кинематики Галилей гораздо ближе стоял к своим предшественникам XIV столетия, чем обычно полагают. Мах был совершенно неправ, когда утверждал, что Галилей, по существу, создал новое понятие ускорения². Его понятие математического ускорения было предвосхищено мертонианцами и Николаем Оресмом, а правильное применение им этого понятия при формулировании закона падения тел до некоторой степени было предвосхищено Доминико Сото, испанским доминиканцем, который умер в 1560 году. После правильного определения равномерного ускорения Сото говорил, что это есть вид движения, свойственный свободно падающим телам и снарядам. Таким образом, хотя Галилей пошел гораздо дальше своих предшественников в полной формулировке кинематики и в применении ее к изучению движений, происходящих в природе, он был не так уж оригинален, как это обычно полагают. В частности, не он первый использовал геометрическое понятие времени.

3. ВРЕМЯ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В течение XVII столетия geometrization времени привела к замечательным достижениям в математике, обусловленным успешным применением кинематических методов. Так, изобретение логарифмов Непером, сообщение о котором было опубликовано в 1614 году, основывалось на сравнении двух движущихся точек, как показано на рис. 2. Точка P движется вдоль прямой AB, в то время как другая точка Q движется вдоль беско-

вечной линии, начинающейся в точке C. Обе точки обладают в начале движения, когда точка P находится в точке A, а Q — в точке C, одинаковой скоростью. Однако в то время как Q имеет все время одинаковую скорость, скорость точки P в любое* мгновение пропорциональна расстоянию PB. Непер определял логарифм числа измеряемого расстояния PB как число, которым измеряется расстояния CQ.

Выдающимся математическим достижением, которое связано с geometrization времени, является, конечно, изобретение Ньютоном исчисления флюксий. Ньютоново понятие флюксии было основано на молчаливой апелляции к нашему интуитивному представлению о движении.



Рис. 2.

На Ньютона оказал сильное влияние, а частично и предвосхитил, его учитель и предшественник по лукасовской кафедре Исаак Барроу. Как Барроу, так и его знаменитый современник, но профан в области математики Томас Гоббс выступали против арифметизации математики, защищаемой Джоном Уоллисом, савильянским профессором в Оксфорде. В противовес ему они подчеркивали фундаментальное значение непрерывной геометрической величины. Тем не менее между их точками зрения имелось важное различие.

Гоббс, критические замечания которого были стимулированы тем, что Уоллис опроверг его наивные попытки найти «квадратуру круга», сильно бранил книгу Уоллиса «Арифметика бесконечного» («Arithmetica Infinitorum») как «подлую книгу»¹ и называл арифметизацию геометрии Уоллисом в «Трактате о конических сечениях» («Tractatus de Sectionibus Conicis») как «чесотку символов»². Успехи Галилея в обосновании динамики, опиравшемся на представление об измерении скорости, про-

¹ T. Hobbes, The English Works of Thomas Hobbes of Malmesbury (ed. Sir William Holdsworth, Bt.), vol. VII, London, 1839, p. 283.

² T. Hobbes, op. cit., vol. VII, p. 361.

извели на Гоббса большое впечатление, и он пытался сделать понятие скорости основой всей своей философии. Гоббс ввел понятие импульса (*conatus*) как источника геометрической протяженности. Движение в точке он рассматривал как движение, которое совершается внутри минимально возможного неделимого интервала. Время Гоббс определил как простой «фантом», или бледный образ', отражающий в нашем уме свойство движения быть «раньше» и «позже». Гоббс не рассматривал его как меру движения, поскольку «мы мерим время движением, а не движение временем»². Кроме того, с его точки зрения, «только настоящее имеет бытие в природе, прошлые вещи имеют бытие лишь в памяти, а будущие вещи не имеют никакого бытия. Будущее есть лишь представление ума, применяющего последствия прошлых действий к действиям настоящим...»³

Барроу, хотя и находившийся в оппозиции к арифметическим и алгебраическим тенденциям Уоллиса (а также некоторых математиков континента) и разделявший точку зрения Гоббса, согласно которой математику следовало отождествлять с геометрией, тем не менее понимал значение времени. В этом отношении его следует рассматривать как своего рода пионера, ибо для большинства мыслителей его времени пространство было куда более важным понятием. Так, даже Декарт, несмотря на то что он понимал полезность алгебры и проявлял глубокий интерес к проблемам движения, был так захвачен понятием геометрической протяженности, что для него время было относительно несущественным. Он рассматривал протяженность как главный атрибут физических вещей, а время для него было лишь способом нашего мышления о них*.

¹ С другой стороны, Галилей совершенно игнорировал проблему соотношения его геометрического представления универсального времени с индивидуальным или психическим временем. Время в галилеевской вселенной в действительности было просто четвертым измерением пространства.

² Т. Гоббс, Избранные сочинения, Госиздат, М.—Л., 1926, стр. 68.

³ Т. Гоббс, Левиафан или материя, форма и власть государства церковного и гражданского, Соцэкгиз, М., 1936, стр. 49.

⁴ Р. Декарт, Избранные произведения, Госполитиздат, М., 1950, стр. 451.

Точка зрения Барроу на природу времени представляет большой интерес не только сама по себе, но еще и потому, что она оказала влияние на Ньютона. В самом деле, точно так же как философия пространства Ньютона происходит от кембриджского платоника Генри Мора, его философия времени восходит к взглядам Барроу, чьи лекции он посещал, будучи студентом. В своих «Лекциях по геометрии» Барроу утверждал, что, «поскольку математики часто пользуются идеей времени, они должны иметь определенное представление о значении этого слова, в противном случае они являются шарлатанами»¹. Хотя Барроу полагал, что «существует большое родство и аналогия между пространством и временем», он все же их строго разграничивал. Барроу критиковал Гоббса за то, что «он не боялся сравнивать между собой *линии* и *время* как однородные количества, образующие взаимную пропорцию, хотя природа этих вещей далека друг от друга»². Барроу находился под глубоким впечатлением применения кинематического метода в геометрии, который был с величайшим успехом изучен учеником Галилея — Торичелли, и полагал, что для понимания этого метода необходимо изучить время. Хотя время измеряется движением, Барроу точно подметил, как и Плотин, критикуя Аристотеля, что оно не может являться ни мерой движения, ни само не может быть измерено движением.

Согласно Барроу, «время обозначает не действительное существование, а определенную способность или возможность непрерывного существования, точно так же, как пространство означает способность к наличию длины. Время не содержит в себе движения, поскольку рассматривается его абсолютная и внутренне ему присущая природа; точно так же оно не содержит в себе покоя; движутся ли вещи или покоятся, спим ли мы или бодрствуем — время продолжает равномерно течь своим путем»³.

Мы видим здесь источник знаменитого определения Ньютона: «Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого

¹ I. Barrow, *Lectiones Geometricae* (trans. E. Stone), London, 1735, Lect. I, p. 4.

² I. Barrow, *op. cit.*, Lect. XVI.

³ I. Barrow, *op. cit.*, Lect. I, p. 35.

отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно». Барроу продолжает: «Время подразумевает, что движение поддается измерению; без движения мы не восприняли бы ход времени. Очевидно, нам следует рассматривать время как текущее равномерно, следовательно, его нужно сравнивать с каким-либо имеющимся равномерным движением, например движением звезд и, в частности, Солнца и Луны...» Однако Барроу на этом не останавливается. На вопрос, откуда известно, что Солнце движется одинаково и что один день или год в точности равен другому, он отвечал: «Если известно, что солнечные часы находятся в согласии с движениями какого-либо рода инструментов, измеряющих время, и устроены таким образом, что их движение происходит равномерно и представляет собой следование одного за другим повторений присущего только им движения, при соответствующих обстоятельствах охватывающего либо целые периоды, либо пропорциональные их части, тогда будет правильным сказать, что они регистрируют одинаковое движение. По-видимому, строго говоря, следует сказать, что небесные тела являются первыми к первоначальными мерами скорее не времени, а тех движений, которые мы наблюдаем при помощи чувств и которые лежат в основе наших экспериментов, поскольку мы судим с их помощью о равномерности небесных движений. Даже само Солнце не заслуживает того, чтобы быть судьей времени или рассматриваться как правдивый свидетель, за исключением того случая, когда инструменты, измеряющие время, подтверждают его правдивость своими показаниями».

Барроу отвечает на вопрос о конечной связи времени и движения следующим образом: «Время может быть использовано как мера движения, точно так же как пространство может быть измерено с помощью какой-нибудь величины, после чего оно может быть использовано для оценки других величин, соизмеримых с первой, то есть мы сравниваем одно движение с другим, используя время в качестве посредника». Он рассматривает время как существенно математическое понятие, которое имеет много аналогий с линией, «поскольку время обладает только длиной, подобно ей во всех своих частях и может рассматриваться как составленное путем простого сложения последующих мгновений или как непрерывное

течение одного мгновения либо как прямая, либо как окружность». Это ясное утверждение является, по-видимому, самой ранней четкой формулировкой понятия геометрического времени, ибо Евклид говорил только об отрезках прямой линии, а не о полной прямой линии в нашем понимании, а Галилей для обозначения определенных временных интервалов пользовался только такими отрезками. Тем не менее, как уже отмечалось, Барроу не отождествлял время с линией. Время, с его точки зрения, было «длительностью чего-либо в своем собственном бытии», а в отрывке, к которому мы еще вернемся в главе IV, он отмечал: «И я тоже не верю, чтобы кто-нибудь не допускал, что те вещи существуют одинаковое время, которые возникли и погибли вместе»¹.

Обсуждая вопрос об аналогии между временем и линией, Барроу указывает, что последняя может рассматриваться либо как составленная из точек, либо как след движущейся точки. Аналогично, утверждает он, время может мыслиться либо как совокупность мгновений, либо как непрерывное течение одного мгновения. С математической точки зрения его кинематический метод был чрезвычайно плодотворным. Если бы Барроу не был решительным приверженцем синтетического стиля древних геометров и не отрицал сознательно алгебраические методы, то он, возможно, предвосхитил бы Ньютона в открытии дифференциального исчисления, этого мощного средства математического анализа. Как Барроу, так и Ньютон столкнулись лицом к лицу с весьма тонкими проблемами континуума и природы мгновенной скорости.

Взглядам Барроу на эти вопросы очень недостает строгости. «Каждому мгновению времени, или неограниченно малой частице времени (я говорю «мгновение», или «неограниченно малая частица», ибо безразлично, предполагаем ли мы, что линия состоит из точек или же из неограниченно малых отрезков; и точно так же не важно, предполагаем ли мы, что время состоит из мгновений, или из неограниченно малых временных интервалов), я повторяю: каждому мгновению времени соответствует известная степень скорости, которой обладает

¹ I. Wallon, op. cit., Lect. I, p. 5.

в это мгновение рассматриваемое движущееся тело»¹. Доказывая, что область, ограниченная кривой зависимости скорости от времени, представляет собой расстояние, он вновь утверждал, что поверхность может быть представлена как совокупность прямых линий. Хотя Барроу ясно понимал, что, строго говоря, вместо линий следует брать очень узкие прямоугольники, он все же утверждал, что «вы придете к тому же самому результату, независимо от того, какой изберете путь»².

Подход Ньютона был более тонким. В отличие от Барроу он был склонен, следуя Уоллису, отказаться от представления о числе как о простом собрании единиц. Ньютон едва не превосхитил современное понятие предела своей идеей «окончательного отношения» «исчезающих приращений». Действительно, это дает основание полагать, что если бы Ньютон посвятил больше времени выяснению этой идеи, то он, возможно, превосхитил бы «строгие» методы, разработанные в XIX веке Коши³. Тем не менее в работах Ньютона (равно как и Лейбница) мы не находим ясного представления о пределе как о числе в полном смысле этого слова, там он рассматривается как отношение двух чисел. В этом плане Ньютон являлся приверженцем традиционных взглядов, так как, с точки зрения Евклида, отношения геометрических величин занимают то место, которое мы в настоящее время отводим так называемым действительным числам.

Ньютон, по-видимому, считал математику прежде всего методом решения физических проблем: например, в предисловии к «Математическим началам натуральной философии» он говорит, что геометрия является только разделом «общей механики». Не удивительно поэтому, что его представления о пределе были тесно связаны с геометрической и временной интуициями, в частности с последней, поскольку он был склонен рассматривать время как образец независимой переменной. В своей знаменитой статье «Аналитик», опубликованной в 1734 году, философ Беркли подверг критике ньютоновское определение флюксии как окончательного отноше-

ния исчезающих приращений, поскольку ему представлялось, что последние были не конечными числами, не нулями, а «теньями исчезнувших количеств». Сам Ньютон хорошо понимал эту трудность и стремился обойти ее с помощью аргументации, которая содержится в поучении, следующем за леммой XI книги I «Начал». В этой аргументации представление о времени играет центральную роль. «Делают возражение, что для исчезающих количеств не существует «предельного отношения», ибо то отношение, которое они имеют ранее исчезания, не есть предельное, после же исчезания нет никакого отношения. Но при таком и столь же натянутом рассуждении окажется, что у тела, достигающего какого-либо места, где движение прекращается, не может быть «предельной» скорости, ибо та скорость, которую тело имеет ранее, нежели оно достигло этого места, не есть «предельная», когда же достигло, то нет скорости. Ответ простой: под «предельной» скоростью надо разуметь ту, с которой тело движется не перед тем, как достигнуть крайнего места, где движение прекращается, и не после того, а когда достигает, то есть именно ту скорость, обладая которой тело достигает крайнего места и при которой движение прекращается. Подобно этому, под предельным отношением исчезающих количеств должно быть разумеемо отношение количеств не перед тем, как они исчезают, и не после того, но при котором исчезают».

В настоящее время математики в противоположность этой точке зрения в общем согласны с тем, что трудности, связанные с основаниями математического анализа, на которые впервые обратил внимание Беркли, не были решены надлежащим образом вплоть до прошлого столетия, до тех пор пока Коши, Дедекинд, Кантор, Вейерштрасс и другие не придали фундаментальным математическим понятиям значительно большую строгость, которой им до этого не хватало. Все эти математики придерживались формалистической точки зрения на природу своего предмета. В частности, они отрицали Ньютоново понимание математического анализа как научного описания порождения величин. Поэтому *выигрши в строгости, которого они достигли, был связан с исключением временных понятий*. Например, современное определение, в котором предел бесконечной после-

¹ I. Varrow, op. cit., Lect. I, p. 38.

² Там же, стр. 39.

³ С. В. Воеуг, The Concepts of the Calculus, New York, 1949, p. 196.

довательности отождествляется с самой последовательностью, устранило следующую *математическую* проблему: достигает ли переменная своего предела. В итоге в конце концов была преодолена интуитивная зависимость понятия предела от понятия движения. Таким образом, хотя представление о времени и движении играло в XVII столетии столь важную роль в возникновении нового математического анализа, двухсотлетняя дискуссия вокруг его оснований привела в конечном итоге к парадоксальному результату, состоящему в следующем: «Тот же самый аспект, который привел к возникновению математического анализа, был в известном смысле опять исключен из математики так называемой «статической теорией» переменной, которая была разработана Вейерштрассом¹. Согласно этой точке зрения, «переменная представляет не постепенный переход через все значения интервала, а дизъюнктивное предположение, что она имеет любое значение на интервале. Наше смутное интуитивное представление о движении, хотя и сыгравшее весьма плодотворную роль в стимулировании исследований, которые привели к созданию математического анализа, как было обнаружено в ходе дальнейших размышлений, совершенно не строго и обманчиво».

Таким образом, колесо совершило полный оборот, и математический анализ в настоящее время характеризуется неоплатоническим «исключением времени».

4. АПОРИИ ЗЕНОНА (I)

Утверждение о том, что теория математической переменной и континуума автоматически устраняет известные парадоксы времени и движения, связанные с именем Зенона Элейского, имеет прямое отношение к освождению этой теории от всех рассуждений, использующих понятие времени. Например, апория «Летающая стрела», согласно которой стрела не может двигаться, поскольку в каждый момент своего полета она занимает пространство, равное самой себе, и, следовательно, ей некуда двигаться, *не может быть* решена, как утвер-

ждает Бойер, с помощью простого указания на то, что «она непосредственно содержит в себе понятие производной и может быть решена с помощью последнего»¹, поскольку это понятие свободно от каких бы то ни было ссылок на представление о времени Тн движения, а последние являются как раз теми самыми представлениями, с которыми связана эта апория.

Хотя мы не знаем точно, ни какую цель преследовал Зенон, формулируя свои апории, ни даже их первоначальную формулировку, философский интерес к ним не ослабевал в течение двадцати четырех столетий и пока не наблюдается никаких признаков его уменьшения. Так, с 1951 по 1953 год только один английский журнал «Analysis» опубликовал не менее семи статей на эту тему.

Расцвет деятельности Зенона, уроженца Элей в Южной Италии, приходится примерно на середину V столетия до н. э. Он был учеником Парменида, родоначальника логической аргументации в философии. Парменид считал ощущения обманчивыми и полагал, что реальность неделима и безвременна. Возможно, что вначале он был пифагорейцем, так как, подобно последним, полагал, что мир имеет сферическую форму. Его ученик Зенон применил свои выдающиеся логические способности для дальнейшего развития доктрины своего учителя, пытаясь доказать, что идеи множественности и изменения приводят к логическим антиномиям. В частности, он подверг критическому рассмотрению понятие времени в своих четырех апориях, связанных с проблемой движения. Эти апории распадаются на две группы согласно тому, как рассматривается в них время (а соответственно и пространство)—как дискретное или как непрерывное, то есть предполагается ли, что оно составлено из неделимых единиц малой, но конечной длительности или же из бесконечно делимых.

Апория «Стрела» направлена против утверждения, что время состоит из неделимых моментов. Она дополняется остроумным аргументом, известным под названием «Стадий», который весьма туманно излагается Аристотелем², чья «Физика» является для нас первым

¹ С. В. Воуег, *op. cit.*, p. 25.

² Н. Р. Д. Лее, *Zeno of Elea*, Cambridge, 1936, p. 55; Аристотель, *Физика*, Соцэкгиз, М., 1937, стр. 143.

¹ С. В. Воуег, *op. cit.*, p. 288.

из сохранившихся источников, содержащих ссылки на учение Зенона. Суть аргументации Зенона, которая также содержит в себе пифагорейское представление о том, что пространство состоит из дискретных точек, по-видимому, может быть выражена следующим образом¹. Ряд точек A движется мимо неподвижного ристалища S , также разбитого на точки, с такой скоростью, что за

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | 1 | 2 | 3 |
| S | / | 2 | 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | 1 | 2 | 3 |
| S | t | r | θ |

Рис. 3.

единицу времени он передвигается на одну точку. Два чертежа на рис. 3 представляют A по отношению к S в два последующих момента времени. Предположим также, что другой ряд точек B движется с той же минимальной скоростью, что и A , но в противоположном направлении. Тогда в последующие моменты возникнет расположение, изображенное на рис. 4, на котором мы видим, что в *последующие моменты* B находится в одном столбце с $A1$, а затем — в одном столбце с $A3$.

| | | |
|---|---|---|
| A | 1 | 2 |
| S | / | |
| B | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | t | 2 | 3 |
| S | / | 2 | 3 |
| B | | 2 | 3 |

Рис. 4.

Зенон утверждал, что это абсурдно, так как при движении A в одном направлении, а B в другом должен существовать такой момент, когда B находится в одном столбце с $A2$ — точкой, расположенной посередине между $A1$ и $A3$. Это противоречит представлению о том, что два ранее рассмотренных момента следуют друг за другом. Итак, последовательных моментов не существует

¹ В своей интерпретации этой апории мы скорее согласны с Берtrandом Расселом («The Principles of Mathematics», 2nd ed., London, 1937, p. 352), чем с автором статьи «Зенон Элейский» в 13-м издании «Encyclopedia Britannica», который утверждал, что если традиция не искадила Зенона, то он повинен з игнорировании относительного характера скорости.

и время, таким образом (а соответственно и пространство), является бесконечно делимым.

Эта апория Зенона, несмотря на все ее остроумие, решается довольно просто, так как, если пространство и время состоят из дискретных единиц, в этом случае относительные движения должны быть таковы, что ситуации, изображенные на рис. 4, могут случаться в последующие моменты. Отрицание Зеноном этой возможности основывается не на логическом законе, а просто на ошибочной апелляции к «здоровому смыслу». В самом деле, прибегая к этой апелляции, Зенон сам фактически совершил логическую ошибку, так как в действительности он молчаливо предполагает постулат непрерывности, который несовместим с гипотезой, принятой в начале рассуждения. Как это ни странно, но если мы примем такие гипотезы, то движение будет представлять собой прерывную последовательность различных конфигураций, как в кинофильме, и ни в какой момент времени не будут существовать промежуточные конфигурации. Переход электрона с одной орбиты на другую рассматривается в элементарной теории атома Бора именно как переход такого типа.

Опровергнув Зенонову апорию «Стадий», мы сталкиваемся с апорией «Стрела», которая также является аргументом против гипотезы о существовании моментов времени. Весьма забавный вариант этой апории был приведен в статье о Зеноне в знаменитом «Словаре» Бейля, который был опубликован в 1696 году. Он рассказывает, со слов Секста Эмпирика, историю о софисте Диодоре, который в своих лекциях отрицал существование движения. Вывихнув себе плечо, он пришел к лекарю, чтобы вправить его. «Как? — сказал лекарь. — Вы вывихнули себе плечо! Но этого не может случиться, ибо если оно двигается, то оно двигается либо в том месте, где ему следует находиться, либо в том месте, где ему быть не полагается. Однако оно не двигается ни на своем месте, ни в том месте, где ему быть не положено, так что оно не может ни действовать, ни вызывать каких-либо страданий, даже если оно находится не на том месте, где должно быть»¹.

¹ См. Секст Эмпирик, Три книги Пирроновых положений, СПб., 1918, стр. 180.

Апория Зенона «Стрела» поднимает глубокие проблемы, связанные с природой движения. Американский философ Чарлз Пирс (1839—1914), чьи работы в последние годы привлекают гораздо больше внимания, чем это было при его жизни, переформулировал эту апорию в виде следующего силлогизма¹:

Большая посылка: Никакое тело, которое не занимает места больше, чем оно само, не движется.

Меньшая посылка: Каждое тело не занимает места больше, чем оно само.

Вывод: Следовательно, ни одно тело не движется.

Ошибка, по его мнению, заключена в *меньшей посылке*, которая истинна только в том смысле, что в течение достаточно короткого времени пространство, занимаемое телом, больше, чем оно само, на сколь угодно малую величину. Пирс пришел к следующему заключению: из всего этого можно сделать лишь вывод, что вне времени тело не проходит никакого расстояния. Хотя эта частная форма аргументации представляет некоторый интерес, она все же является несовершенной, потому что в ней не принимается во внимание концепция движения, которая содержится в *большой посылке*.

С другой стороны, Бертран Рассел ограничился обсуждением парадокса, содержащегося в этой посылке. По его мнению, Зенон предполагал, что когда вещь меняет свое положение, то в вещи должно быть какое-то внутреннее состояние изменения; другими словами, движущееся тело находится в «состоянии движения», которое качественно отлично от состояния покоя. «Далее Зенон указывает, — говорит Рассел, — что в каждый момент стрела просто находится там, где она находится, подобно тому как было бы, если бы она покоилась. Отсюда он заключает, что *состояния* движения быть не может, и поэтому, оставаясь верным той точке зрения, что состояние движения необходимо для движения, он делает вывод, что движения здесь быть не может и что стрела всегда покоится»². Эта аргументация Рассела поднимает важные вопросы, но дело теперь не в том. Я позволю себе заметить, что данная апория Зенона

совпадает с точкой зрения самого Рассела, согласно которой движущееся тело качественно *не* отличается от покоящегося и движение можно рассматривать только как изменение положения. За мгновение времени не может произойти никакого изменения положения, и, следовательно, говорит Зенон, движения быть не может. Если бы благодаря движению в теле происходило какое-то *внутреннее* изменение, то в таком случае сформулированная выше большая посылка была бы несостоятельной. Напротив, основная сила аргумента Зенона, как я себе представляю, вытекает из выраженного в этой посылке интуитивного убеждения в том, что движение можно анализировать только с помощью состояний движения, а не состояний покоя. Другими словами, движение может состоять только из движений, а не из неподвижностей.

Отсюда следует, что существует два противоположных способа избежать вывода Зенона. Мы можем либо различать в любое мгновение движущееся тело от покоящегося с помощью какого-то наглядного свойства, отличного от изменения положения, так как последнее, как правильно отмечает Зенон, не может быть мгновенным, за исключением идеального случая бесконечной скорости, который мы здесь не рассматриваем, либо мы можем смело предположить решение (которое Зенон отвергал как парадоксальное), а именно: движение может быть составлено из неподвижностей. Рассел вместе с Зеноном отрицает первую возможность и весьма близок к нему в вопросе о второй. «Вейерштрасс, строго запретив все бесконечно малые, — пишет Рассел, ссылаясь на строгую арифметизацию последним математического анализа и дифференциального исчисления, — показал в конечном счете, что мы живем в неизменном мире и что стрела в каждый момент своего полета фактически покоится. Единственным пунктом, в котором Зенон, вероятно, ошибался, был его вывод (если он действительно его сделал) о том, что, поскольку не существует никаких изменений, мир все время должен находиться в одном и том же состоянии как в одно время, так и в другое»³.

¹ B. Russell, *The Principles of the Mathematics*, 2nd ed., London, 1937, p. 347.

¹ C. S. Peirce, *Collected Papers* (ed. C. Hartshorne and P. Weiss), Cambridge, Mass., 1934, 5.334.

* Б. Рассел, *История западной философии*, Издательство иностранной литературы, 1959, стр. 813.

Точку зрения Рассела можно сформулировать более дипломатично. Если мы согласны, что движение означает только изменение положения, в том смысле, что тело в различные моменты времени находится в различных местах, то тогда, каким бы странным это ни казалось, нет ничего *нелогичного* в следующем утверждении: поскольку в каждый момент времени тело находится в одном-единственном положении, постольку в этот момент его нельзя отличить от покоящегося тела, находящегося в том же самом месте. Серия фотографий летящей стрелы, рассматриваемых по отдельности, показывает ее в виде последовательности квазистационарных состояний. Когда эти снимки демонстрируются через киноаппарат с достаточно большой скоростью, то вследствие стробоскопического эффекта стрела представляется нам летящей. Различие между изложенными выше двумя интерпретациями зависит, по существу, от того, сколь быстро меняются фотографии перед нашими глазами, то есть только от временного отношения одной фотографии к другой. Если мы считаем это явление точной аналогией и рассматриваем движение как такой феномен, который нужно относить к различным мгновениям, тогда парадокс Зенона рушится, поскольку в приведенном выше силлогизме фраза «движется», строго говоря, означает «движется в данное мгновение», а это бессмысленно.

Хотя эта аргументация решает апорию «Стрела» с чисто логической и семантической точки зрения, она совершенно не решает вопроса, если к нему подходить с точки зрения физики и натуральной философии. Однако дефиниция движения, которую мы приняли, сколь бы естественной она нам ни казалась, отнюдь не является очевидной. В самом деле, она весьма запутанна. Это становится особенно ясным, если рассмотреть историю вопроса. Например, в XIV веке при обсуждении схоластами проблемы движения Иоанн Дуне Скот говорил, что движение — это *forma fluens* (текущая форма), непрерывное течение которой нельзя разделять на последовательные состояния¹, тогда как Григорий из Римини

утверждал, что движение — это *fluxus formae* (текущая форма), или «течение формы», непрерывный ряд различных состояний. Григорий говорил, что в процессе движения движущееся тело приобретает от момента к моменту ряд различных атрибутов места¹. На его взглядах сказалось, в частности, влияние философа-номиналиста Уильяма Оккама, который отрицал, что движение обязано своим появлением реальному существованию какой-либо формы или течению формы в движущемся теле. Вместо этого достаточно считать, что движущееся тело в различные мгновения находится в различных пространственных отношениях с другими телами. Эта идея, заключающаяся в том, что *движение есть отношение, а не качество*, разделялась также Николаем Отрекурром. Его определение движения хорошо сформулировал Вейнберг следующим образом: «я движется», означает, что « x находится в a в момент t , x не совпадает с a в момент t , x находится в a в момент t и не совпадает с a »². Это как раз та концепция движения, которую мы приняли выше.

Мысль о том, что движение есть скорее отношение, чем качество, является необходимой предпосылкой закона инерции, хотя, конечно, следует проявлять осторожность и не усматривать в формулировках ранних авторов сознательного предвосхищения открытий более поздних авторов, в частности таких как закон равноправия состояния равномерного и прямолинейного движения и состояния покоя. Согласно принципу относительности равномерного движения в классической механике, равномерно движущееся тело во всех отношениях тождественно телу покоящемуся: его состояние движения никоим образом не изменяет его самого, оно меняет лишь его положение. Однако с созданием специальной теории относительности (которую мы рассмотрим в гл. IV) в эту концепцию были внесены некоторые тонкие изменения. Хотя

пройденным пространством и актом, посредством которого оно проходит. Он утверждал, что первое можно разделять на части, а последнее нет, ибо «делить можно вещь, но не акт» (А. Бергсон, *Время и свобода воли*, М., 1910, стр. 96).

¹ A. C. Crombie, *From Augustine to Galileo*, London, 1952, p. 248.

² J. R. Weinberg, *Nicolaus of Autrecourt*, Princeton, 1948, p. 168.

¹ В наше время приверженцем этой точки зрения был известный французский философ Бергсон. Он полагал, что при рассмотрении проблемы движения мы должны проводить различие между

равномерно движущееся тело еще рассматривается как *внутренне* тождественное ему же, находящемуся в покое, однако, с точки зрения наблюдателя, по отношению к которому тело движется, дело обстоит иначе. Его относительная пространственная протяженность сокращается в направлении движения на некоторую долю, зависящую от скорости тела. Хотя это сокращение Фицджеральда — Лоренца, как его называют, не противоречит нашему аргументу, опровергающему апорию Зенона «Стрела», оно оказывается неожиданно связанным с уточнением формулировки этой апории, поскольку вместо рассмотрения движущегося тела, занимающего либо место не большее, чем оно есть само, либо место несколько большее, чем оно есть само, что мы предпочитали ранее в зависимости от того, рассматривали ли мы его в момент времени или в течение достаточно короткого интервала времени, теперь мы должны считаться с возможностью, в соответствии с которой движущееся тело как бы занимает места *меньше*, чем оно само есть; иначе говоря, когда оно движется, оно занимает меньше места, чем когда покоится! У апории «Стрела» имеется интересный двойник в виде апории «Пшеничное зерно». Среди других апорий Зенона эта апория стоит особняком, и очень часто ею пренебрегают. Согласно свидетельству Симплиция, между Зеноном и софистом Протагором состоялся следующий диалог: «В самом деле, Протагор, — молвил он, — скажи мне, производит ли при падении шум одно пшеничное зерно или одна десятитысячная часть зерна?» Когда же Протагор ответил, что не производит, Зенон спросил его: «А медимн пшеницы производит при падении шум или нет?» Протагор ответил, что да. Тогда Зенон сказал: «Что же, следовательно, не существует количественного отношения между медимном пшеницы и одним (целым) пшеничным зерном или десятитысячной частью одного зерна?» Когда же тот сказал, что (количественное отношение между ними) существует, Зенон сказал: «Что же, не будут ли и у шумов те же самые взаимные отношения? Ведь как (относятся друг к другу предметы), производящие шум, так (относятся друг к другу) и самые шумы. А если это так, то, раз медимн пшеницы производит шум, произведет шум и одно зерно и десятитысячная

часть зерна». Вот каким образом вел Зенон научную беседу»¹.

Аристотель отделался от решения упомянутого парадокса кратким замечанием: «Поэтому-то неправильно рассуждение Зенона, что любая часть пшеничного зерна произведет шум, так как вполне возможно, что в какое угодно время она не приведет в движение воздух, который привел в движение при своем падении медимн»². Аналогичное замечание делает и автор статьи о Зеноне в 13-м издании «Британской энциклопедии»: «В самом деле, трудно понять, как такой острый мыслитель... не принял во внимание несовершенство органов чувств».

Вероятно, в силу таких критических замечаний данная апория не привлекала практически никакого внимания со стороны тех, кто потратил много энергии на рассмотрение других апорий Зенона. Как я уже отмечал в другом месте³, эти критические замечания бьют мимо цели. Мне кажется, что аргументацию Зенона можно интерпретировать следующим образом. С логической точки зрения величина, отличная от нуля, не может быть порождена конечным числом нулевых величин: *ex nihilo nihil fit* (из ничего ничто не возникает). Следовательно, если слышимый звук может быть порожден совместным действием конечного числа «неслышимых звуков», то в этом случае «ничто» порождается конечным числом «ничто», и таким образом мы сталкиваемся с противоречием между разумом и опытом. Аналогия с утверждением, что движение не может быть составлено из серии состояний покоя, представляется нам в данном случае очевидной.

Апория «Пшеничное зерно» связана с проблемой *применимости* законов арифметики к объектам и событиям нашего опыта. Вопреки отношениям между временем и числом, рассмотренным в первом параграфе настоящей главы, обычно считают, что применение обычной арифметики не зависит от временных соображений: в частности, сумма конечной совокупности объектов не зави-

¹ А. Маковельский, Дсократики, ч. II, Казань, 1915, стр. 84.

² Аристотель, Физика, стр. 164.

* G. J. Whitrow, «Philosophy», 23, 1948, 256.

сит от того порядка, в котором они пересчитываются, тогда как временная последовательность связана с единственным порядком. Более того, каждое событие «уничтожает» своего предшественника, тогда как в последовательности чисел этого не происходит. Однако, как это было однажды отмечено Уайтхедом¹, можно себе представить случай, когда счет самым тесным образом связан со временем и обычная арифметика неприменима. Уайтхед приводит интересную легенду о Никейском соборе. «Когда епископы заняли свои места в креслах, их было 318, но, когда они поднимались во время переключки, оказалось, что их 319, и они никак не могли установить истинное число: всякий раз когда счет подходил к самому последнему в ряду, он немедленно превращался в подобие своего следующего соседа». Как отмечает Уайтхед, «какова бы ни была историческая достоверность этой истории, можно с уверенностью сказать, что ее ложность нельзя доказать с помощью дедуктивного рассуждения, основанного на предпосылках абстрактной логики», так как «вполне возможно представить себе вселенную, в которой любой акт счета, осуществляемый находящимся в ней существом, уничтожал бы некоторых членов класса, подлежащих перечислению, причем уничтожал бы только на то время, когда ведется счет».

Возвратимся теперь к случаю, описанному Зеноном. Если мы рассматриваем звук, производимый медийном, как «сумму» неслышимых звуков, производимых по отдельности падающими зернами, то временной фактор будет иметь решающее значение. Если зерна падают по отдельности в моменты, достаточно далеко отстоящие друг от друга, то они не произведут никакого шума в виде суммарного эффекта, однако если они падают одновременно, то мы услышим звук. Эта апория существенно отличается от апории «Стрела», в которой состояния покоя, составляющие движение, являются *последовательными*, тогда как неслышимые звуки производят слышимый звук только в том случае, если они *одновременны*.

¹ A. N. Whitehead, Mathematics, «Encyclopedia Britannica», 13th ed.

5. АПОРИИ ЗЕНОНА (II)

Мы рассмотрели два аргумента Зенона, с помощью которых он пытался доказать, что движение не может осуществиться, если время состоит из неделимых моментов. Теперь мы перейдем к анализу двух других его аргументов, на основании которых он утверждал, что движение равным образом невозможно, если время (и соответственно пространство) является бесконечно делимым,

В то время как апории «Стадий» и «Стрела» являются независимыми друг от друга, две другие апории, которые мы сейчас рассмотрим — «Дихотомия» и «Ахилл», — внутренне связаны между собой. В каждой из них рассматривается бесконечная последовательность во времени, в одном случае направленная в прошлое, в другом — в будущее. Согласно первой, движение никогда не может начаться, так как прежде чем какой-нибудь предмет сможет пройти расстояние (сколь угодно малое), он должен сначала пройти его половину, а чтобы пройти половину, он должен сначала преодолеть четверть, и так далее *ad infinitum*. Следовательно, для того чтобы пройти какое бы то ни было расстояние за конечное время, предмет должен осуществить за это время бесконечное число операций. Зенон отвергает это как невозможное.

С другой стороны, в апории «Ахилл» Зенон утверждает, что можно доказать, считая движение возможным, что «существо, более медленное в беге, никогда не будет настигнуто самым быстрым, ибо преследующему необходимо раньше прийти в место, откуда уже двинулось убегающее, так что более медленное всегда имеет некоторое преимущество»¹.

В этом кратком изложении Аристотель, между прочим, упоминает о «черепахе», однако комментатор Симплиций (который жил в VI столетии н. э.) в более подробном пересказе апории пишет: «Этот довод называется «Ахилл» потому, что в нем речь идет об Ахилле, который, как гласит этот довод, не может догнать черепаху, которую он преследует. Ибо догоняющий должен, прежде чем он догонит преследуемого, достигнуть точки, из

¹ Аристотель, Физика, стр. 144.

которой преследуемый начал свое движение. Но за время, необходимое преследователю для достижения этой точки, преследуемый пройдет еще какое-то расстояние. Даже если это расстояние меньше расстояния, пройденного преследователем, поскольку преследуемый движется медленнее, все же он продвинется вперед, так как не стоит на месте... Таким образом, в течение каждого периода времени, за который преследователь покрывает расстояние, уже пройденное преследуемым, двигающимся с более медленной относительной скоростью, преследуемый пройдет еще дальше вперед на какое-то расстояние; и хотя это расстояние постепенно уменьшается в силу того, что преследующий имеет более высокую скорость, оно представляет собой продвижение вперед на какую-то положительную величину. И так, беря эти уменьшающиеся в некоторой пропорции расстояния бесконечное число раз, мы приходим в силу бесконечной делимости величины к выводу о том, что Ахилл никогда не догонит не только Гектора, но даже черепаху»¹.

Заслуживает внимания расхождение во взглядах при оценке этой апории. Пирс, например, говорит, что «эта весьма бесхитростная уловка вовсе не представляет трудностей для ума, надлежащим образом подготовленного и в логике и в математике»². С другой стороны, Рассел оценивает четыре апории Зенона Элейского, связанные с проблемой движения, как «чрезвычайно тонкие и глубокие», несмотря на то, что «множество философов объявляли Зенона искусным обманщиком, а все без исключения его аргументы — софизмами»³. В 1953 году один американский философ, опубликовавший свою статью в журнале «Analysis», писал об апории «Ахилл»: «Это очень старая и, на мой взгляд, глупая проблема»⁴, тогда как в том же самом году Абрахам Френкель сделал множество ссылок в своем блестящем трактате по теории множеств на «эту знаменитую апорию, которая оказала громадное влияние на развитие науки»⁵. В свете того факта, что эта неиссякаемая по своей глу-

¹ А. Маковельский, Дсократики, ч. II, стр. 8.

² C. S. Peirce, Collected Papers, Vol. 6, p. 177.

³ B. Russell, The Principles of Mathematics, p. 347.

⁴ R. Taylor, «Analysis», 13, 1953, 17.

⁵ A. Fraenkel, Abstract Set Theory, Amsterdam, 1953, p. 11.

бине проблема привлекает внимание многих блестящих умов, в отличие от столь же древней проблемы «квадратуры круга», которая в своей оригинальной форме привлекает в настоящее время только чудачков, можно предположить, что те, кто игнорирует ее, упускают из виду один весьма существенный момент.

Многие утверждают (например, Кэджори²), что эта апория затрагивает вопрос о пределе функции, при «стремлении» ее аргумента к некоторому фиксированному значению. Аргументом в данном случае является расстояние, покрываемое Ахиллом, а функцией — время. Чисто арифметически мы вычисляем, где и когда Ахилл должен догнать черепаху, и затем спрашиваем, «достигла» ли функция предела в том смысле, который подразумевается Зеноном, то есть вычисляем соответствующее значение функции. Как мы уже отмечали, Ньютон в отделе I книги I своих «Начал», по-видимому, утверждает, что пределы функций всегда «достижимы». Тонкости, связанные с этим вопросом, оставались для него не совсем ясными. Как мы уже видели, более глубокое исследование этой проблемы в XIX веке лишило смысла *математический* вопрос о том, «достигает» ли переменная своего предела. Временные понятия, которые неизбежно связывались с такими терминами, как «стремиться» и «достигать», в настоящее время совершенно исключены из чистой математики. Поэтому возникает вопрос об отношении математической формулировки проблемы к действительной проблеме времени и движения, которая рассматривалась Зеноном.

Это осознал Георг Кантор, но не до конца. Во всяком случае, вначале Кантор рассматривал чисто математическое понятие континуума, а не проблемы, связанные с временем и движением. В течение столетий мыслители пытались объяснить идею линейного континуума, но до Кантора никому из них не удалось определить его как линейное множество, обладающее специфической структурой. Действительно, это понятие должно, по-видимому, мыслиться либо как исходное понятие, не подлежащее дальнейшему логическому и мате-

¹ Неожиданное и весьма интересное обсуждение апории «Ахилл» можно найти в начале гл. XXII книги второй романа Толстого «Война и мир».

² F. Cajori, «American Mathematical Monthly», 22, 1915, 3 и далее.

магическому анализу, либо как такое понятие, которое основано на внелогическом и «нематематическом» понятии времени¹.

При обсуждении смысла понятия континуума Кантор пришел к выводу, что это понятие следует рассматривать как более фундаментальное, чем понятие времени или пространства или каких-либо других независимых переменных. Кантор утверждает, что мы не можем начинать с пространства или времени, ибо сами эти понятия могут быть объяснены только с помощью понятия непрерывности, которое не должно от них зависеть². Принятие этой точки зрения не обязывает нас, -однако, соглашаться с Кантором, когда он утверждает, что специальное рассмотрение времени вовсе не является необходимым в таких критических случаях, когда речь идет о способности Ахилла догнать черепаху. Если для простоты изложения принять, что скорость Ахилла в десять раз больше скорости черепахи, то сумма последовательных расстояний, которые Ахилл покрывает, достигая по истечении каждого рассматриваемого интервала времени места, где находилась черепаха в начале этого интервала, выражается бесконечным рядом следующего вида:

$$(A) \quad 10 + 1 \text{ Ч} - IQ + joo + юсе \sim Б \cdot \cdot \cdot$$

Сумма соответствующих интервалов времени дается другим бесконечным рядом следующего вида:

$$(T) \quad i \text{ ТБГ} \sim r \text{ inn} \cdot 1000 \text{ -4}$$

Кантор утверждает, что если ряд A сходится к конечному пределу, то так же сходится и ряд T . Сходимость ряда A не зависит от временных соображений. Он сходится, и, следовательно, Ахилл догонит черепаху.

С этой аргументацией были согласны Рассел, Уайтхед и Броуд, если ограничиться только тремя наиболее известными учеными. Однако в то время как Рассел отдает должное Зенону, Уайтхед отклоняет апорию с ироническим замечанием о том, что Зенон совершил математическую ошибку, обусловленную его незнанием

бесконечных числовых рядов¹. Броуд, признавая решение Рассела, как оно изложено в книге «Принципы математики» («Principia Mathematica, 1903»), отмечает, что в этом решении обходятся отдельные трудности, «которые чувствуют многие умные люди», ибо это построение не дает нам точки, в которой Ахилл догонит черепаху. В краткой заметке, опубликованной в 1913 году, Броуд отмечал, что, хотя число точек, данное в построении, является бесконечным, они не исчерпывают все точки линии, а из аргументации Зенона никак не следует, что Ахилл и черепаха не встретятся в какой-нибудь точке, которая не задается данным построением. «Такой точке соответствует сумма ряда A »².

Хотя Броуд надеялся, что этот аргумент позволит окончательно решить спор, а это было, по его мнению, весьма актуальной задачей, «потому что эта и другие апории Зенона превратились в «охотничьи уголья» бергсонянцев и подобных им философов, презирающих человеческий разум». Этой надежде, однако, не суждено было осуществиться. И не удивительно, потому что из предпосылки о непрерывности пространства и времени, которая является предметом спора, следует, что Ахилл должен пройти через все точки построения, *прежде чем* он сможет догнать черепаху, а в этом и состоит корень всех трудностей. Если Ахилл проходит через все точки того пути, который ему предписан, то он выполняет бесконечную последовательность действий. *Из того факта, что весь интервал времени, который отпущен ему для этого деяния, имеет конечную меру, еще не следует автоматически вывод о том, что он в самом деле может исчерпать эту последовательность.* Как правильно в 1909 году отметил Уильям Джемс, аргументация (спустя двадцать лет она все еще признавалась Уайтхедом), гласящая, что если бесконечный ряд, составленный из интервалов времени, имеет конечную сумму, то, следовательно, Ахилл должен догнать черепаху, и «критика Зеноновых соображений совершенно не попадает в цель. Зенон полне охотно согласился бы с тем, что если черепаха вообще можно догнать, то ее можно до-

¹ А. Fraenkel, op. cit., p. 227.

² Г. Кантор, Учение о множествах, в сб. «Новые идеи в математике», вып. 6.

¹ A. N. Whitehead, Process and Reality, Cambridge, 1929, p. 95.

² C. D. Broad, «Mind», 22, 1913, 318.

гнать, например, в двадцать секунд; но тем не менее он настаивал бы, что ее нельзя догнать вообще»¹.

Современный спор идет вокруг вопроса о противоречивости предположения о возможности выполнить бесконечное число операций. Поскольку бесконечный ряд не имеет последнего члена, Макс Блэк говорит, что такая последовательность операций невыполнима². С другой стороны, Ричард Тэйлор и Дж. Уотлинг утверждают, что Блэк не проводит различия между завершением последовательности в смысле достижения последней операции и завершением последовательности в смысле осуществления всех операций. Оба смысла одинаковы в случае конечного ряда, но в случае бесконечного ряда только последний имеет значение. Уотлинг категорически утверждает, что «совокупность операций является завершённой, если, и только если, была осуществлена каждая из них. Когда совокупность является бесконечной, то осуществление каждой операции предполагает выполнение всех операций, вплоть до конечной и плюс еще одной, однако в этом нет ничего противоречивого»³. Тем не менее он завершает свое обсуждение, ставя следующую коренной вопрос: «Однако не является ли парадоксальным скорее то, что мы не можем понять, как человек, который совершает какую-то последовательность операций и ничего более и который намеревался осуществить все эти операции, может внезапно обнаружить, что он уже проделал все операции?»

То, что Рассела, например, не очень смущали такие неясные идеи, было, по-видимому, обусловлено тем, что на него громадное впечатление произвели блестящие идеи Кантора об актуальной бесконечности. Хотя идея о бесконечности как о постоянной величине ясно осознавалась некоторыми философами⁴ прошлого, особенно св. Августином⁵, против нее решительно выступил величайший из математиков нового времени Гаусс, кото-

¹ У. Джемс, Вселенная с плюралистической точки зрения, М, 1911, стр. 125.

² М. В л а с к, «Analysis», И, 1950, 92.

³ J. W a t l i n g, «Analysis», 13, 1953, 39.

⁴ Правда, другими она отвергалась, например Джоном Локком, который утверждал, что мы не можем «установить постоянную меру для возрастающего объема» («Опыт о человеческом разумении», книга II, глава 17, § 7).

⁵ St. Augustine, De Civitate Dei, liber XII, cap. XVIII.

рый утверждал, что представление о бесконечности «как о чем-то законченном» недопустимо с математической точки зрения». Кантор открыто и мужественно выступил против подобного запрета. В 1883 году водной из своих ранних публикаций, посвященных проблеме актуальной бесконечности, Кантор писал: «По традиции бесконечность рассматривают как неопределенно возрастающую величину или как нечто очень близкое сходящейся последовательности, как это было принято в XVII веке. Напротив, я представляю себе бесконечное в определенной форме как нечто законченное, допускающее не только математические формулировки, но и определение с помощью числа. Эта концепция бесконечности находится в противоречии с традиционной, которую я очень ценю, и я против своей воли вынужден принять эту точку зрения. Но многие годы теоретических размышлений и проверок указывают, что этот вывод логически необходим, и поэтому я уверен, что не существует таких веских возражений, на которые я не был бы в состоянии дать ответ». Выступая в защиту канторовской теории бесконечных множеств как теории о вполне законных объектах, подлежащих исследованию, мы, однако, не должны упускать из виду тот факт, что, строго говоря, они являются лишь творениями нашего мышления. Даже если мы полностью признаем корректность канторовского анализа континуума, несмотря на аргументы интуиционистов, согласно которым это понятие нельзя рассматривать как замкнутую полную совокупность, мы не должны считать, что в действительности, то есть во *времени*, любая бесконечная последовательность операций может быть выполнена, так как, используя удачное высказывание Френкеля, «неопиcуемая бездна разделяет конечное и бесконечное». Теперь, если бы Ахилл проходил через всю последовательность положений, в которых находилась черепаха, как и рассматривал эту проблему Зенон, и при этом пересчитывал бы их, то этим самым он исчерпал бы бесконечную группу положительных целых чисел, *пересчитав* ее. Однако сколь быстро бы он ни считал, это деяние неосуществимо, потому что ни одно бесконечное множе-

¹ T. D a n t z i g, Number, the Language of Science, 3rd ed., London, 1947, p. 211.

ство не может быть полностью перечислено при помощи счёта, даже когда мы имеем дело с так называемым счётным множеством, как в данном случае, хотя можно назвать *любой* из его членов, но *нельзя* пересчитать их *все*. По сути дела, это различие имеет временной характер: мы можем сказать, что эту операцию нельзя завершить ни за какое время.

Поэтому согласие с канторовской теорией бесконечного обязывает нас точно различать бесконечное множество положений (которое Зенон рассматривает, анализируя движение черепахи, и которое обязан пройти Ахилл) и последовательность актов их прохождения. Допуская возможным рассмотрение первого как совокупности, мы не можем делать вывод о законности такого рассмотрения последней, поскольку, хотя первое может мыслиться как статическая или завершённая бесконечность, последняя именно по своей природе должна рассматриваться только как бесконечно возрастающая, динамическая или незавершённая бесконечность.

Тенденция навязать геометрическое понимание времени привела к распространению канторовской бесконечности на временную сферу, где она неприменима. Это видно из нового очень тщательного рассмотрения Расселом апории «Ахилл». В ходе своего изложения¹ Рассел сформулировал другой парадокс, который рассматривал как «строго коррелятивный». У Стерна в его известном одноимённом романе Тристрам Шэнди, обнаружив, что для описания двух первых дней своей жизни ему потребуется два года, сокрушался по поводу того, что, таким образом, материал его биографии будет накапливаться быстрее, чем он сможет его обработать, и он никогда не сможет ее завершить. «Теперь я утверждаю, — говорил Рассел, — что если бы он жил вечно и его работа не стала бы ему в тягость, даже если бы его жизнь продолжала быть столь же богатой событиями, как вначале, то ни одна из частей его биографии не осталась бы ненаписанной». Рассел называет этот вывод «парадоксом Тристрама Шэнди», но четко не разъясняет, в чем же заключается этот парадокс, если он существует. Рассел отмечает, что, поскольку Тристрам Шэнди успевае́т описывать за год событие только од-

ного дня, события *n*-го дня будут описаны в *n*-ом году и что поскольку любой день является *n*-ным днем, то он в конечном счёте будет описан.

В этом выводе, по-видимому, нет ничего парадоксального или даже дискуссионного. Парадокс возникает только в том случае, если мы предположим, что поскольку события *любого* дня будут описаны в биографии, то будут описаны и события *всех* дней. Действительно, автор никогда не опишет события всех дней, и вообще незаконно рассматривать события его жизни как законченное бесконечное множество. Следовательно, неправильно представлять себе ситуацию таким образом, что число прожитых и описанных дней будет одним и тем же. Но именно так поступает Рассел, когда утверждает: «Поскольку между временами событий и временами их описания существует одно-однозначное соответствие и первые составляют часть последних, целое и часть имеют одно и то же число членов». Это утверждение предполагает, что данная последовательность событий, которая не может быть завершена, может рассматриваться как целое. Этот безвременной способ рассмотрения приводит Рассела, когда он излагает апорию «Ахилл» и «парадокс Тристрама Шэнди» «в строго логической форме», даже к тому, что он говорит о положениях в одном случае и событиях в другом так, как будто бы соображения, применимые к первым, автоматически применимы и к последним.

В апории «Ахилл», в отличие от «парадокса Тристрама Шэнди», время, которое необходимо для совершения деяния, обычно предполагается как конечное, поскольку считают, что как Ахилл, так и черепаха движутся равномерно. Не существует, однако, никаких возражений против градуировки шкалы времени так, чтобы каждый интервал времени, в течение которого Ахилл продвигается от положения, в котором он находился в начале интервала, к Положению, где находилась черепаха в тот же момент, был равен каждому другому такому интервалу времени. Это новое измерение времени должно идеально удовлетворять всем условиям проблемы, поставленной Аристотелем и Симплицием, а также и добавочному конкретному условию, которое мы наложили из-за того, что скорость Ахилла всегда в 10 раз больше скорости черепахи. В этом случае сумма

¹ B. Russell, The Principles of Mathematics, p. 358.

временных интервалов, о которых шла речь, будет уже представляться не сходящимся рядом вида

$$(T) \quad 10 \quad \text{и} \quad 1 + \frac{1}{100} + \frac{1}{1000} + \dots$$

а расходящимся рядом

$$(D) \quad .1 + 1 + 1 - 1 - 1 + 1 + \dots$$

Но должно ли из этого следовать, что Ахилл никогда не сможет догнать черепаху?

Мы видим: если не предполагается, что, шкала времени выбрана так, что Ахилл и черепаха движутся равномерно, условия проблемы не позволяют нам различать возможную сходимость или расхожимость ряда рассматриваемых интервалов времени, в частности (T) и (D) . Конечному моменту, изображаемому числом $10/9$ в шкале T , будет соответствовать бесконечный момент на шкале B . Следовательно, если этот момент соответствует какому-либо действительному или достижимому состоянию мира, то из этого следует, что ни это состояние, ни любое более позднее не могут быть отмечены на шкале D . Однако мы не можем сделать из этого вывод, что состояние практически достижимо только потому, что оно приписывается конечному моменту на той или иной шкале времени, точно так же, как мы не можем утверждать, что оно недостижимо только потому, что ему не может быть приписан ни один такой момент. Первую ошибку, по-видимому, совершало большинство из критиков Зенона. Последняя может быть проиллюстрирована с помощью аналогии. Если у нас имеется растяжимый измерительный шнур, состоящий из бесконечного числа отрезков, каждый из которых имеет длину один дюйм, автоматически сжимающихся при растяжении шнура так, что им нельзя измерить отрезок, больший данного интервала AB , то было бы неправильно только из этого делать вывод, что большая длина существовать не может.

Поэтому апорию «Ахилл» нельзя окончательно решить только с помощью вычислений, относящихся к той или иной шкале времени. Напротив, мы должны ясно представить себе, что проблема касается физических событий и что они существуют независимо от наших концепций, хотя наш анализ этих событий будет необходи-

мым образом подчиняться нашему способу мышления, в частности каким-то частным гипотезам, которые нам следует выдвинуть для того, чтобы сделать этот анализ не только возможным, но и плодотворным. Что Ахилл не догонит черепаху — это Зенон может утверждать, пока не посинеет, но ему никогда не удастся доказать это свое утверждение. Аргументы Зенона говорят скорее о том, что его метод (и в сущности любой метод) анализа пространства, времени и движения выдвигает новую проблему, связанную с его применимостью. Таким образом, апория Зенона связана не с вопросом о том, догонит Ахилл черепаху или нет, а с вопросом о применимости к изучению движения гипотезы о бесконечной делимости пространства и времени. Эту гипотезу можно примирить с возможностью того, что Ахилл догонит черепаху в том случае, если мы выдвинем новую гипотезу, согласно которой как только он бесконечно близко подходит к своей цели, то совершает в пределе бесконечное число последовательных действий с бесконечной скоростью. Но бесконечная скорость (в пределе) означает, что (в пределе) эти действия, в противоречие с их определением как последовательных, одновременны. Таким образом, мы видим, что, если этот метод изучения движения должен быть универсально справедлив во всех приложениях, мы должны ввести логическую фикцию (внутреннее противоречие) в виде бесконечно быстрого следования действий с целью компенсации логической фикции, заключающейся в возможности рассмотрения законченной бесконечности последовательности действий.

Остроумная идея о *компенсации ошибок* была впервые предложена Беркли в 1734 году в его сочинении «Аналитик», где он критиковал Ньютонов метод флюксий. С помощью этой идеи Беркли пытался примирить свое утверждение об ошибочности оснований этого метода с тем фактом, что он дает правильные результаты. Хотя мы теперь ясно понимаем, что схема Беркли вовсе не нужна для оправдания математического анализа, сходный метод компенсирующих фикций, например *координат и общей ковариантности*, рассматривается теперь как неотъемлемая часть научного метода. В частности, этот подход нужен нам для плодотворного применения понятия бесконечной делимости к представлениям

о времени и движении. Поскольку эти представления уже не считаются имеющими отношение к пониманию математического анализа, то отсюда¹ следует, что, хотя математический «анализ можно применять для их рассмотрения, он не содержит их в себе. Следовательно, аргументы, относящиеся к основаниям математического анализа, не обязательно применимы к вопросам, связанным с временем и движением.

Не удивительно, что *применение* принципа бесконечной делимости времени оказывается связанным с логическими фикциями, построенными, строго говоря, в нарушение закона противоречия, ибо сам этот принцип содержит именно такую логическую фикцию, что становится очевидным, когда апория Зенона «Дихотомия», которую он, по-видимому, формулировал для движущегося тела, применяется к самому времени, то есть к любым часам. В этом случае Зенон должен утверждать, что до истечения любого интервала времени (как бы он ни был мал) должна истечь половина этого интервала, равно как для того, чтобы могла истечь половина, должна истечь ее половина и т. д. до бесконечности. Следовательно, до того как сможет истечь любой интервал времени, должна истечь завершенная бесконечность перекрывающих друг друга подынтервалов. Таким образом, можно либо сделать вывод о необходимости отбросить идею бесконечной делимости времени, либо, если желательно использовать эту схему, нужно учитывать, что это, строго говоря, логическая фикция¹.

В итоге этого довольно пространного обсуждения апорий Зенона, касающихся времени и движения, нам представляется, что две из них, основанные на понятии неделимости временных промежутков, покоятся на иных основаниях, нежели две другие, которые связаны с предположением о бесконечной делимости времени. При

правильном анализе оказывается, что первые не содержат никаких логических антиномий; хотя они, по-видимому, противоречат здравому смыслу. Однако последние являются истинными парадоксами, содержащими логические антиномии. Итак, мы можем сделать заключение, что гипотеза о существовании временных промежутков, то есть о существовании какого-то определенного предела делимости времени, с логической точки зрения является предпочтительной по сравнению с альтернативной гипотезой, согласно которой время действительно непрерывно, то есть бесконечно делимо. Тем не менее последняя гипотеза оказывается более доступной для математического рассмотрения и при помощи метода компенсирующих фикций ее можно использовать для получения последовательных и правильных результатов.

6. АТОМАРНОСТЬ ВРЕМЕНИ

В наши дни большинству из нас трудно вообразить понятие временной атомарности в силу естественного стремления верить в непрерывность нашего собственного существования. С другой стороны, понятие об атомном строении материи, согласно которому существуют абсолютно минимальные частицы материи, сейчас является общепризнанным. Точно так же с возникновением квантовой теории стало банальным утверждение, что энергия в конечном счете имеет атомарный характер. Пока не ясно, можно ли говорить о пределе физической длины, хотя, видимо, в общем это должно было бы согласовываться с современными тенденциями постулировать наличие нижнего предела, пространственной протяженности в природе. С этим понятием тесно связана гипотеза о минимальных естественных процессах и изменениях, согласно которой ни один процесс не может произойти за время, меньшее некоторой атомарной единицы времени — *хронона*. Конечно, принятие представлений о пространственной и временной атомарности в физике не запрещает нам применять в наших вычислениях математические понятия пространства и времени, требующие использования при расчетах числового континуума, однако в таком случае бесконечная делимость, связанная с этими понятиями, будет чисто

¹ Интересно сравнить и противопоставить друг другу апории Зенона «Дихотомия» и «Ахилл» с аргументацией Канта, согласно которой до настоящего момента не могло существовать бесконечного числа состояний вещей, потому что такой бесконечный ряд никогда не может быть завершен путем последующего *синтеза* (см. стр. 44–46). В случае, рассматриваемом Зеноном, бесконечный ряд последовательных действий является чисто мысленным рядом, вытекающим из нашего метода *анализа*, тогда как у Канта бесконечные ряды предполагаются *ex hypothesi* действительно имеющими место.

математической и ей не будет соответствовать ничего физического.

Нелегко последовательно рассматривать эти вопросы. Как мы уже видели, даже Зенон при обсуждении апории «Стадий» молчаливо обращался к представлению о непрерывности, хотя данная апория основана на предположении об атомарном характере пространства и времени. Логически непротиворечивое решение этой проблемы должно опираться на представление о последовательных дискретных состояниях, между которыми нельзя вставить никакие другие состояния. И обратно, во временном континууме не должно быть таких последовательных состояний, так как между любой парой событий мы можем вставить бесконечное число промежуточных состояний. Поэтому понятия физической дискретности и математической непрерывности, когда обсуждаются все тонкости, связанные с проблемами, поставленными Зеноном, следует строго различать. Не надо думать, что в некотором смысле второе понятие является основанием первого, как, например, полагает такой острый мыслитель, как профессор Грюнбаум, когда утверждает, что поскольку пространство и время являются «экстенсивными величинами, значения которых задаются вещественными числами», а множество вещественных чисел в чистой математике составляет континуум, то, следовательно, «атомы» пространства и времени логически предполагают целое, составными частями которого они могут рассматриваться и которое является их суммой»¹. Когда он, развивая свою аргументацию, утверждает, что в каждом из конечных неделимых далее элементов пространства движущееся тело пересекает континуум, а следовательно, плотную бесконечность точек и мгновений, то он, по-видимому, попадает в ту же самую западню, что и Зенон. Напротив, согласно гипотезе об атомарном характере времени, Ахилл не пройдет никакого расстояния за неделимый элемент времени, в каждый момент времени он будет находиться в определенном месте, в один момент он будет находиться здесь, в следующий — там, и это все, «то он может сделать».

¹ A. Grünbaum, «The Scientific Monthly», 81, 1955, 238.

После трехсотлетнего господства в математической физике непрерывного геометрического времени Галилея, Барроу и Ньютона недавно в связи с открытиями в атомной физике и физике элементарных частиц как смелая и несколько искусственная сопутствующая им гипотеза была выдвинута идея об атомарном строении времени, или конечной его делимости. Однако в средние века и об атомарном характере времени говорили различные мыслители, особенно еврейский филозоф Маймоид, который жил в XII столетии и писал свои труды на арабском языке. В наиболее известной из своих работ «Путеводитель колеблющихся» он писал, что время состоит из атомов времени, то есть из множества частей, которые по причине их малой длительности не могут быть подвергнуты дальнейшему делению. Один час, приводит он пример, делится на шестьдесят минут, минута — на шестьдесят секунд, секунда — на шестьдесят частей и т. д.; наконец, после десяти или более последующих делений на шестьдесят получаются элементы времени, которые не подвержены более делению и действительно, неделимы².

Предполагают, что арабские писатели средневековья опирались не только на античную греческую и эллинистическую науку и философию, но также и на теории индийских философов. Саутранкитас, принадлежавший к буддийской секте, которая возникла во II или I столетии до н. э., выдвинул метафизическую теорию о мгновении всех вещей. Согласно этой теории, все существует только мгновение и в следующее мгновение заменяется точной копией самого себя, так сказать, кинематографически. Эта теория предполагает разложение времени на «атомы». Она была, по-видимому, придумана с целью объяснить вечные изменения, которые имеют место в физическом мире³. Восходит или нет к столь глубокой древности происхождение маймонидовского понятия времени, но почти наверняка можно

¹ В древности идея о неделимых атомах времени защищалась, по-видимому, Ксенократом, учеником Платона (см. S. S a g a b u r s k y, *Physics of the Stoics*, London, 1959, p. 103).

² М. Ма и М о н и д, Путеводитель колеблющихся, в: С. Н. Григорян, *Из истории философии Средней Азии и Ирана VII—XII вв.*, Изд-во АН СССР, М., 1960, стр. 288—289.

³ Н. J a c o b i, *Atomic Theory (Indian)*, «The Encyclopedia of Religion and Ethics» (ed. Hastings), Edinburgh, vol. 2, 1909, p. 202.

сказать, что он цитирует своих предшественников, поскольку та же идея появилась в «Этимологии» («Etymologiae») Исидора Севильского, который умер в 636 году н. э., а также примерно около ста лет спустя в сочинении «О разделении времени» («De Divisionibus Temporum») Беда Достопочтенного, который умер в Джарроу в 735 году. Согласно Таннери¹, мысль о том, что время состоит из отдельных мгновений, была перенесена в средневековье Марцианом Капеллой, римским автором энциклопедического труда, который он написал в Карфагене около 470 года н. э. Та же идея вновь появляется в девятой книге популярной энциклопедии «О свойствах вещей» («De Proprietatibus Rerum») Варфоломея Англичанина (францисканский монах из французской епархии, который, возможно, был учеником Гроссетесте в Оксфорде), написанной приблизительно между 1230 и 1240 годами. В этой работе, хотя как с точки зрения методической, так и с точки зрения содержания она была устаревшей, астрономия представлена взглядами Макробиуса и Марциана Капеллы. Мы узнаем, что Варфоломей делил день на 24 часа, каждый час на четыре пункта, или 40 моментов, момент — на 12 унций и каждую унцию — на 47 атомов². Таким образом, получалось, что час состоит только из 22 560 атомов, а Маймонид насчитывал их 60° или больше! Таннери обозначил этот современный филологический пережиток античного понятия атомарности времени итальянским словом *attimo*, означающим *мгновение*.

Теория Маймонида, согласно которой время состоит из атомов времени, а вселенная должна была существовать только в течение одного из них, если бы не было непрерывного вмешательства бога, разделялась также и Декартом. Согласно точке зрения Декарта, поскольку самосохраняющееся бытие не требует для своего существования ничего, кроме самого себя, самосохранение

¹ P. Tannery, *Memoires Scientifiques* (ed. J. Heiberg), Paris, 1922, vol. 5, p. 346—347.

² Введение странного множителя 47, по-видимому, связано с Метоновым циклом, названным по имени астронома Метона, деятельность которого достигла расцвета в Афинах во времена Перикла около 432 года до н. э. В основе этого цикла лежало открытие почти полного равенства 19 солнечных лет 235 (то есть 5 X 47) лунным месяцам. Для того чтобы выразить месяц как сумму временных атомов, был введен множитель 47.

должно быть прерогативой только бога. Следовательно, материальное тело обладает только одним свойством пространственной протяженности и не имеет никакой врожденной способности к длительности, и бог с помощью непрерывного действия вновь порождает тело в каждое последующее мгновение, поскольку, «для того чтобы сохранять субстанцию во все моменты ее существования, нужна сила, необходимая для создания ее вновь, если бы она не существовала, то сохранение и создание были бы только различным выражением одного и того же *fac. op. de penser*»¹. Следовательно, Декарт был вынужден постулировать, что моменты, в которые существуют сотворенные сущности, должны быть прерывными, или атомарными. Существование во времени должно, следовательно, быть подобно линии, составленной из отдельных точек — повторяющихся перемен состояний бытия и состояний небытия.

В последние годы, после открытия того, что эффективный диаметр электрона и протона равен 10^{-13} см, вновь воскресли гипотезы о минимальном интервале времени. Высказывались предположения, что эта величина является, возможно, наименьшей длиной, которая может быть определена². Соответственно наименьший интервал времени можно получить, разделив эту длину на наибольшую возможную скорость, на скорость света в вакууме (3×10^{10} см/сек). Отсюда следует, что величина хронона будет примерно равна 10^{-24} сек³.

Однако большинство физиков пока еще не чувствуют никакой необходимости вводить представление об атомарности времени, поскольку квантовое понятие *стационарного состояния* квантовой механикой согласовано с

¹ Р. Декарт, *Размышления о первой философии*, СПб., 1903, стр. 28.

² Однако с чисто теоретической точки зрения единицу длины, которая меньше чем 10^{13} см, можно вывести из трех фундаментальных констант G , h и c (гравитационная постоянная, постоянная Планка и скорость света). Эта постоянная $1/Gh/c^3$ имеет порядок 10^{-22} см. Длины короче чем 10^{13} см в нашем изложении, по-видимому, не имеет смысла рассматривать.

³ Примерно такое время характерно для процессов нормального распада нуклонов, то есть процессов, относящихся к так называемым «сильным взаимодействиям» между протонами и нейтронами. Однако время жизни наиболее нестабильной из известных элементарных частиц примерно в 10^4 раз больше. Дальней-

непрерывной временной переменной. Если не вводить атомарность времени, то другой альтернативой гипотезы о бесконечной делимости времени является предположение, что оно вообще неделимо. Эта точка зрения энергично защищалась Бергсоном, который видел в ней средство для того, чтобы, не отказываясь от веры в реальность времени, избежать трудностей, связанных как с проблемой непрерывности, так и с атомарностью времени, которые были подняты Зеноном.

Философская заслуга Бергсона состоит не столько в формулировке отдельных идей, сколько в оригинальности его указаний на те свойства времени, которые носят истинно временной характер, а не квазипространственный. К сожалению, в своих нападках на геометризацию (или опространствление) времени он зашел слишком далеко и утверждал, что поскольку время существенным образом отличается от пространства, то оно фундаментально несводимо к математическим терминам. Его учению не повезло, оно привело к антиинтеллектуалистской философии и является совершенно необоснованным. Из того, что время непространственно, еще не следует, что оно совершенно неделимо и неизмеримо, точно так же как этого нельзя сказать в отношении температуры или твердости. До тех пор пока не достигнуто общее согласие относительно хронона, понятие математического времени, лежащее в основе физической науки, включая и микрофизику, будет продолжать базироваться на гипотезе о непрерывности или бесконечной делимости.

шее рассмотрение хронона на основе принципа неопределенности Гейзенберга см. на стр. 304.

Любопытное и пока еще не объясненное наличие единицы времени около ИСН¹ сек вытекает из проведенного Филпоттом анализа своих экспериментов по периодичности флуктуации умственной деятельности при выполнении повседневных заданий. Подвергнутые эксперименту люди получали на бумажной ленте ряды чисел, которые нужно было сложить и прочесть. Их ответы регистрировались. Задания выдавались порциями в течение следующих друг за другом пятисекундных интервалов времени. Филпотт разложил кривую флуктуации производительности, построенную по данным 700 результатов, на сложную систему волн и утверждал, что им обнаружена основная единица времени, равная примерно 4,076-Ю⁻²³ сек («Brit. J. Psychol», 1949, 39, 123; 1950, 40, 137). Детальную критику выводов Филпотта и его попытки связать свое открытие с действием атомных процессов см. L. F. Richardson, *ibid.*, 1953, 43, 169, и в последующей дискуссии между Филпоттом и Ричардсоном,

7. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ КАК ТИП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОРЯДКА

Поскольку математическое мгновение нулевой длительности в точности аналогично геометрической точке, оно не может рассматриваться как теоретический коррелят «теперь» нашего чувственного сознания, которое, как мы уже видели, явно обладает некоторой длительностью. Более того, наше исследование апорий Зенона привело нас к заключению: для того чтобы движение было возможно, точечные мгновения должны рассматриваться как логические фикции. Отсюда следует, что мы можем принять это понятие только как математический инструмент, который используется просто для облегчения расчета.

В этой процедуре нет ничего необычного. В самом деле, математическая физика изобилует примерами, где логически фиктивный характер используемых средств является гораздо более очевидным. Величины, которые по своей собственной природе должны быть дискретными, продолжают обозначать с помощью дифференциалов, несмотря на тот факт, что дифференцируемость предполагает непрерывность. Например, в статистической механике символ dN обозначает число частиц и поэтому, строго говоря, должен быть целым. Кроме того, в задачах по электричеству dq означает элемент заряда, несмотря на наше знание, что природа электричества дискретна. Какими бы спорными ни показались эти явно внутренне противоречивые процессы для человека, стремящегося к логической строгости, они никогда не волнуют физика, который, если бы его спросили об этом, ответил бы, что они обоснованы в силу малости dN по сравнению с общим числом рассматриваемых частиц, а dq — по сравнению со всем рассматриваемым зарядом. Конечно, имеются необходимые условия практической применимости данных инструментов, но их обоснование — дело математики. Подобным же образом в случае времени (а также и пространства) физики придержи-

¹ «Нет природы без перехода, и нет перехода без временной длительности. Поэтому момент времени, понимаемый как первичный простой факт, является бессмыслицей» (A. N. Whitehead, *Modes of Thought*, Cambridge, 1938, p. 207).

баются гипотезы непрерывности, поскольку дифференциальные уравнения являются более удобными, нежели уравнения в конечных разностях (по крайней мере с аналитической точки зрения; все возрастающее использование вычислительной техники и машин, которые основаны на дискретных числовых процессах, приведет, возможно, к некоторым изменениям этой точки зрения). Таким образом, основной причиной, почему физики придерживаются этой гипотезы, является ее математическое удобство.

Однако примерно за последние пятьдесят лет некоторые выдающиеся философы и чистые математики выражали неудовлетворенность существующим положением дел. Как Дедекин и другие во второй половине прошлого столетия чувствовали неудовлетворение из-за отсутствия какого-либо логического определения иррациональных чисел, например $\sqrt{2}$, хотя математики уже давно успешно оперировали ими без каких-либо определений, так и Уайтхед, Рассел и другие пришли к выводу, что безразмерные точки и мгновения должны быть «построены», а не просто постулированы. Дедекин определил иррациональные числа с помощью рациональных, которые в свою очередь состоят из положительных целых чисел. Уайтхед, а также его коллеги и последователи пытались определить безразмерные мгновения математического времени с помощью воспринимаемых событий конечной длительности и воспринимаемых временных отношений между ними. Метод *экстенсивной абстракции* Уайтхеда, как он сам называл его, первоначально предназначался для определения точек с помощью воспринимаемых объектов. Применение этого метода к определению моментальных мгновений впервые было исследовано Норбертом Винером в одной из его ранних статей, опубликованной в 1914 году¹.

Метод Уайтхеда связан с тонким приемом, который после многочисленных и весьма плодотворных применений в различных областях нужно рассматривать как одно из наиболее мощных методологических нововведений нашего времени. Первым примером применения его в чистой математике было отождествление предела бесконечной последовательности с самой последовательно-

стью. Таким образом, иррациональное число $\sqrt{2}$, например, было отождествлено со множеством всех рациональных чисел, квадраты которых не превосходят 2. Оказалось, что это определение удовлетворяет всем формальным требованиям, предъявляемым $\sqrt{2}$, и, таким образом, несмотря на свою первоначальную непривычность, оно получило всеобщее признание. Затем Фреге в Германии (в 1883 году) и Рассел в Англии (в 1901 году) пришли к определению кардинального числа, в котором содержится все та же основная идея, например число 2 определялось как класс, или множество всех пар, и т. д. Подобным образом Уайтхед определял точку по аналогии с китайскими коробочками, как множество всех объемов, окружающих точку¹. Сделать эту идею полностью удовлетворительной и логически строгой было отнюдь не легко, однако лежащий в ее основе всеобщий принцип не является более трудным для понимания, чем в предыдущих случаях. Следует упомянуть одно частное требование этого метода. Нужно доказать, что он не содержит в себе логического круга и что, определяя таким образом точку, мы не используем молчаливо представление в точке, на которую опираются при построении данного множества объемов, а именно всех тех объемов, которые действительно окружают точку. К счастью, можно показать, что множество объемов, сходящихся к точке, может быть определено с помощью некоторых отношений, имеющих место между членами множества, без каких-либо ссылок на понятие точки. Тем не менее с помощью этого метода нельзя построить непрерывное пространство точек только на основании чувственных данных, поскольку необходимо предположить, что для размеров рассматриваемых объемов нижнего предела не существует, тогда как чувственные данные не могут быть сколь угодно малы.

На первый взгляд можно было ожидать, что определение бездлительных мгновений (которые мы отныне будем именовать просто «мгновениями») является более простой проблемой, чем определение пространственных точек, поскольку время имеет только одно измерение, тогда как пространство — три. Тем не менее дело дви-

¹ N. Wiener, «Proc. Camb. Phil. Soc.», 17, 1914, 441—449.

¹ Любое такое множество он называет «абстрактивное множество». Отсюда происходит термин «экстенсивная абстракция».

галось медленно. Конечная цель состояла в том, чтобы из недлящихся событий вывести континуум мгновений, который постулируется математической физикой, и таким образом обосновать эту гипотезу, поскольку не очевидно, что временной порядок физики должен неизбежно быть порядком этого типа. Данный континуум является ординально линейным или подобен континууму вещественных чисел, но известно, что в чистой математике существуют упорядоченные множества более сложного типа. Следовательно, выведение этого линейного континуума времени из приемлемой системы аксиом, имеющих отношение к воспринимаемым событиям, является не просто каким-то абстрактным логическим упражнением учебного характера.

В своих льюэлловских лекциях 1914 года Рассел указывает два различных пути подхода к этой проблеме¹. Мгновения могут быть построены из событий (ненулевой длительности) либо с помощью временного окружения, подобного уайтхедовскому определению точки через пространственное окружение, либо путем рассмотрения временного перекрытия. Однако для того, чтобы с помощью первого метода построить непрерывный ряд мгновений, необходимо использовать события произвольно малой длительности (точно так же как в случае пространства должны быть введены сколь угодно малые объемы), хотя нет никаких оснований предполагать, что такие события действительно существуют. Поскольку это гораздо больше соответствует нашему опыту — см. высказывания Уильяма Джемса, цитированные на стр. 103, о том, что в каждый момент в нашем мозгу происходят процессы, перекрывающиеся друг друга, — мы ограничимся рассмотрением метода перекрытия².

Наш действительный опыт времени можно проанализировать с помощью двух фундаментальных отношений: одновременности и временного порядка (или предшествования). В этой связи любое событие обязано быть либо *одновременным*, либо более *ранним*, либо более *поздним* по отношению к любому другому событию. Два события, сосуществующие в течение некоторого времени, которое, однако, мало по сравнению с соответствующи-

ми им длительностями, называются одновременными, или перекрывающимися друг друга. Следовательно, из двух событий, которые не перекрываются, одно должно быть раньше другого или одно должно предшествовать другому; и это отношение является транзитивным, а именно если одно событие предшествует другому, а это в свою очередь предшествует третьему, то первое событие предшествует третьему. Если мы начинаем с рассмотрения двух одновременных событий, то любое третье событие, которое одновременно с двумя первыми, должно существовать в течение (но не обязательно только в течение) того времени, когда они все три перекрываются. Поэтому Рассел *определяет* мгновение как такое множество событий, любые два события из которого одновременны, и не существует другого события (то есть события, не содержащегося в множестве), одновременного со всеми этими событиями. Предполагается, что мгновения, определенные таким образом, *существуют*.

Говорят, что событие происходит «в» данное мгновение, когда оно является элементом множества, определяющего это мгновение. Временной порядок мгновений определяется тогда следующим условием: одно из них раньше другого, если в первом некоторое событие произошло раньше, чем во втором. Если ни одно из мгновений не является более ранним, то они одновременны (тождественны).

Определив мгновения с помощью этого метода, мы сталкиваемся со следующим фундаментальным вопросом: позволяет ли это определение вывести временной континуум мгновений, постулируемый физиками? Этот континуум, который мы будем обозначать символом T , обладает следующими формальными свойствами¹.

(1) T есть упорядоченное множество. Под этим мы разумеем следующее: если p и g являются любыми двумя мгновениями, то тогда либо p одновременно с q , либо p предшествует q , либо q предшествует p и все эти три отношения взаимно исключают друг друга. Более того, если p предшествует q , а q предшествует другому мгновению g , тогда p предшествует g , а про q говорят, что оно произошло между p и g .

¹ Подобные свойства характеризуют линейный континуум вещественных чисел, а в геометрии — континуум точек на непрерывной Линии,

¹ B. Russe 11, Our Knowledge of the External World, London, 1914, Led. IV.
Используя этот метод, мы предполагаем, что получающееся множество мгновений везде плотно,

(2) T есть плотное множество. Это означает, что если p предшествует g , то между p и g существует по крайней мере одно мгновение q .

(3) T удовлетворяет постулату Дедекинда, а именно если T_1 и T_2 являются двумя непустыми частями T , так что каждое мгновение T принадлежит либо к T_1 , либо к T_2 и каждое мгновение T_1 предшествует каждому мгновению T_2 , то имеется по крайней мере одно такое мгновение t , что любое мгновение, более раннее чем t , принадлежит к T_1 , а любое мгновение, более позднее чем t , принадлежит к T_2 .

(4) T содержит линейную систему F , которая представляет собой счетное подмножество, так что между любыми двумя мгновениями T имеется по крайней мере одно мгновение, которое принадлежит к F .

В своей статье 1914 года Винер получил необходимые условия, при которых удовлетворяется требование (1), а также рассмотрел условия, которым удовлетворяет требование (2). Несколько позже Рассел сформулировал условия, при которых одно событие происходит по крайней мере «в» одно мгновение, в частности в начальное мгновение. В более поздней статье¹, опубликованной в 1936 году, Рассел показал, что, для того чтобы было выполнено требование (2), достаточно, чтобы: (а) ни одно событие не длилось только одно мгновение и (б) любые два перекрывающиеся события имели по крайней мере одно общее мгновение.

В этой последней статье Рассела преимущественно интересовала проблема существования мгновений. Рассел показал, что это существование можно вывести дедуктивным путем, если сделать специальные предположения относительно событий. Однако, как отмечал он, не существует «никаких оснований, ни логических, ни эмпирических, для предположения о том, что эти предпосылки являются истинными». Так, например, одна из этих предпосылок состоит в том, что целое множество событий может быть «вполне упорядоченным», то есть каждое подмножество обладает начальным членом. Другие предпосылки касаются существования определенных

видов вполне упорядоченных рядов событий. «Но при отсутствии таких возможностей, когда может случиться так, что все события, существующие в начале какого-либо события (или в конце его), продолжают в течение какого-то периода, когда другие начинаются и прекращаются (или уже существовали в течение этого периода), я не знаю, как доказать, что такие мгновения где-то существуют»,² — говорит Рассел. И он приходит к выводу, что если начальные предположения были ошибочны, то «мгновения являются только логическими идеалами», к которым можно бесконечно приближаться, но которых нельзя достигнуть.

Десятью годами позднее проблема определения мгновений с помощью длительностей была вновь подвергнута рассмотрению Уокером³. Уокер сначала занялся логическим анализом континуума фундаментальных частиц, который составляет основу теоретической модели мира, но был вынужден перейти к разработке теории временного порядка, независимой от этого практического приложения. Уокер показал, как можно, опираясь на идею сечения *частично* упорядоченного множества, определить временное мгновение. Свойства таких множеств ранее были изучены Макнейлом³. С точки зрения Уокера, понятие *предшествования*, имеющее важное значение для установления порядка и связанное с множеством событий или длительностей, должно рассматриваться как *частичное*, поскольку для любых двух членов группы может случиться так, что один предшествует другому, а может быть, и нет. Если ни один из этих членов не предшествует другому, тогда о каждом из них говорят, что он *перекрывает* другой. Уокер предположил, что, если a , b , c и d есть четыре любые длительности, такие, что a предшествует b , b перекрывает c , а c предшествует d , тогда a предшествует d . Это положение мы назовем *постулатом Уокера*. В нем подразумевается, что существует следующее отношение. Если a предшествует b и b предшествует d , то a предшествует d . Тогда мгновение определяется как упорядоченная группа трех классов длительностей (A , B , C), построен-

¹ B. Russell, «Proc. Camb. Phil. Soc.», 32, 1936, 216—228, статья вошла в сборник: «Logic and Knowledge» (ed. R. C. Marsh), London, 1956, p. 347—363.

² B. Russell, op cit., p. 363.

³ A. G. Walker, «La Revue Scientifique», № 3266, 1947, J31—134.

³ H. M. Maon e i l l e, «Trans. Amer. Math. Soc.», 90, 1937, 416.

ных следующим образом. A есть класс всех длительностей a , и B есть класс всех длительностей B , так что каждое a предшествует каждому B . Класс C есть множество всех длительностей, которые не принадлежат ни к A , ни к B . Эти три класса определяют мгновение, если любой член класса C перекрывается некоторым членом класса A и некоторым членом класса B . Говорят, что мгновение (A, B, C) , определенное таким образом, предшествует мгновению (A', B', C') , если класс A' включает класс A , где термин *включает* означает, что каждый член класса A принадлежит также и к классу A' , «о существуют такие члены класса A' , которые не являются членами класса A . Если классы L и L' являются тождественными, то из этого следует, что B' совпадает с B , а C' с C . В этом случае мы говорим, что мгновение (L', B', C') одновременно с мгновением (A, B, C) .

Можно доказать, что определенное таким образом множество мгновений упорядоченно, так что: (1) из любых двух мгновений p и q либо q предшествует p , либо p предшествует q , либо p и q одновременны; (2) из любых трех мгновений p , q и g , если p предшествует q , а q предшествует g , то p предшествует g . Для того чтобы прийти к такому выводу, мы должны предварительно доказать теорему, которая гласит: если каждая длительность a класса A предшествует любой длительности B класса B и если каждая длительность a' класса A' предшествует каждой длительности B' класса B' , тогда либо L и L' тождественны, либо один включает другой.

Уокер вывел эту предварительную теорему с помощью доказательства абсурдности противоположного утверждения, поскольку если бы эта теорема была неверна, тогда отсюда должно было бы следовать, что существует какая-то длительность a' (принадлежащая к L), которая не является членом A' , а также длительность a' (принадлежащая к A'), которая не является членом L . Мы покажем, что если бы это было так, то a необходимо перекрывало бы a' . Такой вывод следует из того (и это можно легко показать), что ни одно из них не может предшествовать другому, поскольку если a предшествует a' , тогда, так как a' предшествует всякому B' , отсюда следует основной постулат, согласно которому a должно предшествовать всякому B' , следовательно, a будет членом A' , что находится в противоречии с пред-

положением, гласящим, что a не является членом A' . Точно так же мы можем доказать, что a' не может предшествовать a . Следовательно, a и a' должны перекрываться. Теперь мы докажем существование такого члена B' в классе B , что $она'$ перекрывается, так как поскольку a' не находится в L , то существует длительность B класса B , которая либо предшествует, либо перекрывается с a' . Однако первое невозможно; так как поскольку a предшествует B , то из нашего основного постулата следует, что a должно предшествовать a' , а мы только что видели, что это невозможно. Следовательно B должно перекрываться a' . Точно так же мы можем доказать, что a должно перекрываться с B' . Таким образом, мы нашли, что a предшествует B , которое перекрывается a' , в свою очередь предшествующее B' . Следовательно, согласно основному постулату, a должно предшествовать B' . Но это противоречит нашему начальному выводу, что a должно перекрываться B' . Следовательно, теорема, противоречащая предварительной, является неверной, и, таким образом, мы нашли, что или классы L и L' идентичны, или же один из них включает другой.

Сейчас мы можем доказать, что два мгновения p и q являются либо одновременными, либо одно из них предшествует другому, так как, если $p = (L, B, C)$, а $q = (A', B', C')$, тогда из предварительной теоремы следует, что либо A тождественно L' или же L' включает A , либо L включает A' . Следовательно, p либо одновременно с a , либо p предшествует q , либо q предшествует p . Наконец, если p предшествует q и q предшествует g , где $g = (A'', B'', C'')$, тогда A' включает A , а A'' включает L' , следовательно, L'' включает L ; поэтому p предшествует g .

Тот же самый метод можно использовать для доказательства, что множество мгновений, построенное таким образом, является *замкнутым* в том смысле, что каждая ограниченная монотонная последовательность из множества имеет предел, который является членом группы. Так, рассмотрим бесконечную последовательность мгновений.

$$p_1 > p_2 > \dots > p_n \dots$$

где $p_n = (A_n, B_n, C_n)$ так, что p_1 предшествует p_2 , p_2 предшествует p_3 и т. д. Предположим, что каждый член

этой последовательности предшествует некоторому мгновению $q = (A^*, B^*, C^*)$. Тогда пределом последовательности, как это можно показать, будет мгновение $p = (A, B, C)$, где A есть класс всех длительностей, которые являются членами по крайней мере одного из

"1> "2> "3' ... "я» • • •»

а B есть класс всех длительностей, которые являются общими для всех

а C — класс всех длительностей, которые не принадлежат ни к A , ни к B . Мгновение p существует, поскольку существует класс, определяющий его, например B существует, поскольку он включает B^* . Более того, если $p' = (A', B', C')$, есть любое мгновение, предшествующее p , тогда A включает в себя A' ; и поскольку имеется всегда конечная величина n , такая, что A_n включает A' , то отсюда следует, что p' предшествует p_n , которое предшествует p . Следовательно, p есть предел ряда в том смысле, что для каждого p' , предшествующего p , имеется член ряда p_n , такой, что p_n находится в промежутке между p' и p . Подобный же результат может быть установлен для бесконечного ряда, в котором p_2 предшествует p_1 , p_3 предшествует p_2 и т. д.

Можно также показать, что первоначальные длительности соответствуют интервалам упорядоченного множества мгновений, построенных из них. Интервал определяется как множество мгновений, которым либо предшествует данное мгновение p , либо они предшествуют данному мгновению q , либо и то и другое¹. Говорят, что длительность c , которая принадлежит к классу C , содержит мгновение t , где $t = (A, B, C)$. Предположим, что длительности c предшествует длительность a , а ей самой — длительность b . Тогда мы можем определить мгновения p и q так, что, если t содержится в c , тогда p предшествует t , а t предшествует q , и обратно, если p предшествует t , а t предшествует q , то отсюда следует, что c содержит в себе t . Эти мгновения определяются следую-

¹ Это определение содержит в себе утверждение, согласно которому вообще интервалы являются открытыми множествами мгновений, и не содержит утверждения о том, что они все не равны нулю,

щим образом: $p = (L_1, B_1, C_1)$, где L_1 есть класс длительностей, которые предшествуют c , а B_1 и C_1 являются классами, соответствующими B и C ; $q = (A_2, B_2, C_2)$, где B_2 есть класс длительностей, которым предшествует c , а L_2 и C_2 являются классами, соответствующими A и C . Теперь, если t содержится в c , то отсюда следует, что c является членом C и, следовательно, не является членом B . Однако c является членом B , и поэтому B должно включать в себя B_2 , откуда следует, что p должно предшествовать t . Точно так же мы можем доказать, что t должно предшествовать q .

Наоборот, если p предшествует t , а t предшествует q , тогда A_2 включает в себя A , A включает в себя A_1 , B_1 включает B , а B включает B_2 . Для того чтобы доказать, что c содержит в себе t , мы должны показать, что c есть член C . Этот вывод следует в том случае, если мы сможем доказать, что c не принадлежит ни к L , ни к B . Теперь, если бы c было членом A , тогда c предшествовало бы любой длительности x , входящей в B . Следовательно, x был бы членом B_2 , и поэтому B_2 включало бы B , что противоречит нашему предварительному утверждению, что B включает B_2 . Поэтому c не может принадлежать к A . Точно так же мы можем доказать, что c не может принадлежать к B . Следовательно, c должно принадлежать к C и, таким образом, c содержит t .

Хотя этот метод и позволяет нам получить упорядоченное множество мгновений из частично упорядоченного множества длительностей таким образом, что исходные длительности соответствуют интервалам множества мгновений, все же это еще не может дать нам временной континуум, постулируемый физиками. В самом деле, анализ показывает, что выполняются только условия (1) и (3), приведенные выше, и он совместим с гипотезой о существовании хронона, то есть с гипотезой, гласящей, что каждая конечная длительность содержит конечное число мгновений. Этот метод показывает, однако, что, если предполагается, что длительности подчиняются постулату Уокера, тогда можно считать, что они состоят из мгновений, которые образуют одномерную последовательность, удовлетворяющую постулату Дедекинда.

Поэтому, для того чтобы построить временной континуум, нужно на упорядоченное множество мгновений T ,

полученных из ощущаемых на опыте длительностей, наложить дополнительные условия. Мы покажем¹, что если множество обладает отмеченным выше свойством (2), то есть везде, плотно, то оно также обладает и свойством (4) и, следовательно, изоморфно с континуумом вещественных чисел, что обеспечивается наложением еще одного условия относительно плотности множества часов.

Пусть t_0 будет любое данное мгновение множества T , которое предшествует какому-то другому мгновению t_r . Тогда, согласно условию (2), мы можем выбрать мгновение t_z , которое предшествует t_i и которому предшествует мгновение t_r . Мы обозначим это следующей формулой: $t_0 < t_z < t_i$. Точно так же мы можем выбрать мгновение t_3 так, что $t_u < t_3 < t_2 \forall i$ вообще любое мгновение t_n , которое является таким, что $t_0 < t_n < t_{n-1}$ для всех положительных чисел n . Ссылаясь на наши прежние выводы о замкнутости множества мгновений или, напротив, опираясь на условие (3), мы можем показать, что любая конечная последовательность этого типа должна стремиться к единственному пределу t в множестве T , в том смысле, что любое мгновение, предшествующее t , также предшествует каждому t_n , а любое мгновение, которому предшествует t , также имеет предшественника в виде какого-то t_n . Поэтому мы можем подразделить T на два непустых множества T_1 и T_2 согласно следующему критерию: любое мгновение t множества T является элементом T_1 если оно предшествует каждому t_n , и оно является элементом T_2 , если имеется какое-нибудь мгновение t_n , которое предшествует ему. Ясно, что каждое мгновение принадлежит либо к T_1 , либо к T_2 и что ни одно из этих множеств не является пустым, ибо t_0 является элементом T_1 а t_i элементом T_2 . Более того, поскольку множество T упорядочено, то отсюда непосредственно следует, что каждое мгновение множества T_1 предшествует каждому мгновению множества T_2 . Поэтому, согласно постулату Дедекинда, существует по крайней мере одно мгновение t , такое, что любое мгновение более раннее, чем t , относится к T_1 и любое мгновение,

¹ Нижеследующий анализ был подсказан автору более поздней работой Уокера (A. G. Walker, «Proc. Roy. Soc. Edin.», 62, 1948, 319—335) и работой Робба (A. A. Robb, Geometry of Time and Space, Cambridge, 1936, i. 103—105).

более позднее, чем t , относится к T_2 . Однако, поскольку множество T везде плотно, то отсюда следует, что t должно быть единственным, поскольку если бы имелись два различных мгновения этого типа, то тогда существовало бы промежуточное мгновение, которое принадлежало бы как к T_1 , так и к T_2 , а это невозможно.

Теперь мы введем понятие *монотонно упорядоченного плотно множества «часов»*. Во-первых, под «часами» мы понимаем гипотетический «механизм», который, будучи «заведен» в любое данное мгновение x , пробьет в одно более позднее мгновение!/. Функциональное отношение этих двух мгновений мы обозначим $y = b(x)$. Мы поставим также следующее условие: если $x_i < x_j$, то $t_j i < t_j a$, и $t/2$ являются $\{j\}$ -мгновениями, соответствующими лг-мгновениям, x_i и x_j соответственно. Начиная с любого мгновения t , временная цепь мгновений может быть построена так, что если часы «заведены» в момент t , то они «пробьют» в момент $b(t)$, если они «заведены» в мгновение $b(t)$, то «пробьют» в мгновение $b(b(t))$, и вообще если они «заведены» в $Q^p(t)$, то они «пробьют» в $Q^{p+1}(t)$, где $b^{p+1}(t) = \{b^p(t)\}$ $D_{\forall \text{всех}}$ положительных целых чисел p . Эту цепь можно экстраполировать в обратном направлении: если часы «бьют» в мгновение t , то они были «заведены» в мгновение $b^{-1}(t)$; и вообще если они «бьют» в $8^{-j}(t)$, то это означает, что они были «заведены» в $8^{-j-1}(t) = b^{-j-1}(8^{-j}(t))$ для $\forall \text{всех}$ положительных целых чисел q . С помощью такого определения «часов» мы постулируем, что цепь мгновений «боя», построенная при помощи заданных часов, начиная с любого данного мгновения t , покрывает все мгновения множества T , в том смысле, что любое другое мгновение t^* , принадлежащее к множеству T , будет либо мгновением этой цепи или же является таким, что может быть найдено любое целое число p (положительное, отрицательное или нуль), так что

$$^1 (/) < / * < o" 0).$$

¹ Этот постулат может рассматриваться как аналогия *аксиомы Архимеда* в геометрии (см. также Евклид, кн. V, опред. 4, а именно: «Говорят, что величины имеют отношение между собой, если они, взятые кратно, могут превзойти друг друга»). Однако в отличие от аксиомы Архимеда он не содержит никаких ссылок на измерение и конгруэнтность, а только утверждает, что рассматриваемые часы идут все время.

Мы говорим, что множество часов *монотонно упорядочено*, если порядок «боя» любой пары часов, «заведенных» в одно и то же мгновение x , не зависит от x , то есть если он всегда одинаков. Мы предположим, что имеется плотное множество таких часов, так что для двух любых данных мгновений a и p , где $a < \beta$, существует такой член этого множества, что, когда часы «заведены» в мгновение a , он отмечает мгновение, которое предшествует β . Все вместе эти определения и постулаты определяют монотонно упорядоченное непрерывное множество часов, каждое из которых покрывает множество T . По идее, не требуется никаких предположений относительно применяемого «механизма», кроме гипотезы, гласящей, что существуют правила для выделения подмножеств мгновений, составляющих временные цепи с описанными выше свойствами.

Теперь покажем, что в множестве T содержится линейная система F , которая представляет собой счетное подмножество мгновений — такое, что между любыми двумя мгновениями a и p множества T существует по крайней мере одно мгновение, которое принадлежит к F . Мы начнем с выбора определенной последовательности мгновений $A, 4, \dots, t_r, \dots$, в которой t_{r+1} предшествует t_r для $r = 1, 2, \dots$, сходящегося к некоторому мгновению t . Мы также выберем из множества часов, введенного выше, подмножество, связанное с функцией v_r , так что мгновение «боя» часов b_r , которое «заведено» в мгновение t , есть $\delta_r(t)$, где

и часы b_{r+1} «бьют» раньше часов b_r , несмотря на то, что они были «заведены» в одно и то же мгновение. Мы также выберем другие часы, связанные с функцией β , так что если они «заведены» в мгновение a , то они «пробьют» в $\beta(a)$, где

Поскольку последовательность мгновений t_r сходится к t , мы можем найти некоторый член этой последовательности, скажем t_n , который предшествует $\beta(t)$. Таким образом, поскольку $\delta_n(t) < t_n$, то отсюда следует, что $\text{On}(t) < \beta(i)$ и поэтому $\beta(0) < \beta(0)$ для любого мгновения i . Отсюда следует, что $\beta_n(a) < \beta(a)$, а поскольку $\delta(a) < \beta$,

то мы можем вывести, что $\epsilon_n(a) < \beta$. Так как часы охватывают все моменты T , то отсюда следует, что должна существовать целое p (положительное, отрицательное или нуль) такое, что

где \wedge обозначает предшествование или тождество. Поскольку

то мы делаем вывод, что

Подмножество мгновений $\delta(t)$ является счетным, поскольку p и n оба являются целыми числами, а t фиксировано. Мы, следовательно, построили такую линейную систему моментов F , что между любыми двумя мгновениями множества T существует по крайней мере один член множества F , и F является счетным подмножеством множества T .

Абстрактный одномерный континуум мгновений математической физики, изоморфный математическому континууму вещественных чисел и, следовательно, геометрическому континууму точек на линии, рассматривается, таким образом, как логическая конструкция, выведенная на основе наблюдений над частично перекрывающимися длительностями. Для построения этого континуума были сделаны следующие предположения:

(1) если длительность a предшествует b , а b перекрывается c , а c предшествует d , то a предшествует d ;

(2) множество мгновений T , полученное путем подбора соответствующего класса длительностей, как это объяснялось ранее, везде плотно;

(3) подмножества мгновений могут быть выбраны таким образом, что строится монотонно упорядоченное плотное множество «часов», покрывающих множество T .

При построении этого линейного континуума математического времени мы пользовались только определениями и постулатами, касающимися понятия порядка, и нам не было никакой необходимости обращаться к каким-либо метрическим понятиям. Хотя было введено понятие «временная цепь», с ним не было связано никакого

метрического Понятия периодичности. Следовательно, связь конкретных мгновений с определенными вещественными числами оставалась произвольной.

Подводя итог, - можно сказать, что в нашу задачу входило не установление «реальности» мгновений, а только анализ принципов, лежащих в основе их теоретического построения на основе эмпирических данных сознания и, следовательно, ответ на вопрос, почему для математического времени мы получаем тот же самый арифметический континуум, что и для системы точек, составляющих геометрическую линию. В этом смысле мы стремились «подтвердить» галилеевскую геометризацию времени, хотя континуум не обладающих длительностью мгновений, полученный таким образом, по существу, представляет собой логическую абстракцию.

8. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

Сведение перекрывающихся длительностей индивидуального времени к непрерывному ряду бездлительных моментов, изоморфному математическому континууму действительных чисел, не приводит непосредственно к какой-либо системе измерения времени. Поскольку число мгновений в любой конечной длительности бесконечно и здесь имеет мощность континуума, то не существует одной лишь числовой меры времени, выражаемой соответствующим числом мгновений в различных длительностях. По словам Уайтхеда¹, длительность имеет «временную толщину» и «сохраняет внутри себя течение природы», тогда как мгновение лишено временной протяженности и представляется поэтому лишенным каких-либо внутренних переходов, временной же переход является следованием мгновений. Подобная проблема возникает при измерении длин вдоль непрерывной линии, составленной из непротяженных точек.

Проблема измерения подробно обсуждалась в середине века, особенно в Оксфордской школе натурфилософов, начиная с Гроссетесте. Эти натурфилософы полагали, что, поскольку попытки пифагорейцев разложить

¹ A. N. Whitehead, *The Concept of Nature*, Cambridge, 1920, p. 56.

все длины на конечное число минимальных единиц потерпели крах¹, любая линия должна рассматриваться как состоящая из бесконечного числа непротяженных точек, и, для того чтобы преодолеть вытекающую отсюда трудность измерения, необходимо ввести условные единицы. Уолтер Бёрли заметил по этому поводу следующее: «Относительно этого состояния неопределенности я говорю, что поскольку *континуум* делим до бесконечности, то в *континууме* по самой природе, а не только по установлению людей нет никакой первичной и единственной меры»². Комментируя Аристотелево определение времени, согласно которому последнее есть «число движения по отношению к раньше и позже», Гроссетесте утверждает, что с любым измерением всегда связана неизбежная неточность, которая проистекает из природы вещей и делает все человеческие измерения условными³.

Линейное упорядочение мгновений означает, что мы можем приписать конкретным мгновениям числа так, что отношения «до», «после» и «одновременно с» указываются числовыми отношениями «меньше чем», «больше чем» и «равно». Но даже в том случае, когда мы придерживаемся этих правил, приписывание конкретным чисел конкретным мгновениям является в некотором отношении произвольным. Так, если целые числа $n, n + 1$ приписываются мгновениям a и b , где a предшествует b , то в принципе любое число p , удовлетворяющее неравенству $n < p < n + 1$, может быть приписано любому определенному мгновению t , которое позднее a и предшествует b . Точно так же любое число q , удовлетворяющее неравенству $n < q < p$, может быть приписано любому мгновению, которое позже a и раньше b и т. д. Численные обозначения, приписанные таким образом, только

¹ Как следствие несоизмеримости диагонали и стороны квадрата.

* A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*, Oxford, 1953, p. 103.

³ Измерения времени необходимым образом зависят от движущих «приборов», например механических часов, планет и т. д., каждый физический объект и наши наблюдения над ним не только несовершенны; даже в лучшем случае они подвержены случайным статистическим флуктуациям. Гармонический анализ «простейших» статистических флуктуаций времени недавно был предложен Н. Винером и А. Уинтнером («Nature», 181, 1958, 561–562).

указывают относительное положение в линейно упорядоченных рядах.

Хорошей иллюстрацией такого типа процедуры является шкала Мооса, которой пользуются минерологи. «Тверже чем» есть, подобно временному предшествованию, транзитивное асимметричное отношение. Говорят, что один минерал тверже другого, если первым можно нанести царапину на втором. Шкала Мооса основывается на следующих предположениях: если A нанесет царапину на B , а B — на C , тогда A нанесет царапину на C ; если A нанесет царапину на B , то B не нанесет царапину на A ; любое тело, которое не нанесет царапину на A и на которое не нанесет царапину A , будет наносить царапины на все те тела, на которые они наносятся A и будет получать царапины от всех тех тел, которые наносят царапины на A . В силу этих свойств конечное число минералов может быть расположено в порядке их твердости: наиболее мягкому может быть приписано число 1, следующему менее мягкому число 2 и т. д. Так, твердость алмаза представлена числом 10, а твердость рубина числом 9. Эта шкала является произвольной в том смысле, что, если A тверже B , а B представлено, скажем, числом 9, тогда A может быть равным образом представлено как числом 10, так и 11 и 100 или миллионом, и при этом сохраняется установленный относительный порядок нумерации всех минералов.

Следовательно, шкала Мооса является чисто порядковой шкалой, а не шкалой измерений. Никакие числовые операции над цифрами этой шкалы не имеют значения. Поэтому различие между цифрами, приписываемыми алмазу и рубину, ничего не говорят нам о «степени», в которой первый тверже последнего. Точно так же описанный выше метод приписывания порядковых чисел мгновением ничего не говорит нам о длительностях, разделяющих различные мгновения, то есть о протяженности, на которую одно из них предшествует другой или следует за ней. Это метод только датирования, а не измерения времени, подобно шкале Мооса, он является качественным, а не количественным.

При переходе к проблеме измерения времени мы могли бы ожидать, что основным принципом измерения должен быть следующий: мера, приписываемая длительности, составленной из любых двух последовательных

длительностей, должна быть равна арифметической сумме $x + y$ соответствующих мер x и y обоих слагаемых длительностей. На практике этот принцип выполняется, однако его нельзя рассматривать как автоматически применимый ко всем формам измерения (эйнштейновский закон сложения параллельных скоростей в теории относительности является хорошо известным исключением). Отсюда следует, что в фундаментальном теоретическом анализе мы обязаны подойти к этому вопросу с более общей точки зрения.

Поэтому мы начнем с предположения, что если для измерения длительностей мы с успехом применяем числа, то сложение временных величин должно удовлетворять требованиям как коммутативности, так и ассоциативности. Иными словами, предположим, что «сумма» последовательных длительностей x и y является той же самой, что и сумма y и x , и что любая длительность, составленная из трех последовательных длительностей x , y и z , имеет одну и ту же меру, безотносительно к тому, «прибавляется» ли z к временной «сумме» x и y или же временная «сумма» y и z прибавляется к x . Обозначая временную «сумму» x и y однозначной функцией $f(x, y)$, мы, следовательно, требуем, чтобы $f(x, y)$ была бы симметрична по отношению к x , y и z . Написав $b_y(x)$ для $f(x, y)$ и $B_y(x)$ для $f(f(x, y), z)$, мы получаем, что

то есть функциональные операторы B_y и B_z коммутативны. Поскольку x и y могут принимать все значения континуума, можно показать, что если аддитивная функция является дифференцируемой, то ее следует записать в следующей форме:

$$f(x, y) = \Phi_y(x) = \Phi_y(x) + a(y),$$

где Φ есть монотонный функциональный оператор, который не зависит от x и y . Поскольку $f(x, y)$ есть симметричная функция, то $a(y) = \Phi_y(y)$ и, следовательно,

$$f(x, y) = \Phi_y(x) + \Phi_y(y).$$

¹ Относительно решения проблемы коммутативности функциональных операторов см. G. J. Whitrow, «Quart. J. Math.» (Oxford), Series I, 6, 1935, 249—260. В этом же журнале в 1946 году опубликованы статьи Уокера и других авторов на эту тему.

Следовательно, если w есть мера длительности, кото*
рая представляет собой временную сумму двух длитель-
ностей, измеряемых с помощью x и y соответственно, то

$$\gg M = \langle ?(*) + ? (y) \quad \text{O}$$

Общие условия, согласно которым сложение времен-
ных отрезков должно удовлетворять требованиям как
коммутативности, так и ассоциативности, означают,
следовательно, что в некоторой монотонной функции Φ
меры x и y двух последовательных длительностей, на
которые может быть разложена длительность, обладаю-
щая мерой w , должны подчиняться уравнению (1).
Отсюда следует очень важный вывод, что если
первоначально выбранная шкала не является аддитив-
ной с точки зрения арифметики, то она может быть
«отображена» на другую шкалу, которая является та-
ковой. Для этого требуется только новая шкала времен-
ных измерений, символически представленная $x \rightarrow X$,
где $X = \langle p(x) \rangle$. Тогда, если U и W обозначают новые
меры, приписываемые длительностям u и w согласно
первой шкале, то ясно, что $W = X + Y$. Следовательно,
любой метод приписывания измерений длительностям,
которые подчиняются коммутативному и ассоциативному
законам сложения, может быть в принципе в конечном
счете применен для получения величин, которые подчи-
няются обычному закону арифметического сложения.
Более того, поскольку уравнению $f(X + Y) = f(X) +$
 $+ f(Y)$ удовлетворяет единственная непрерывная функ-
ция $f(X) = KX$, где K , не зависит от X , то отсюда следует,
что любая шкала измерений является *единственной*,
с точностью до некоторой произвольной мультиплика-
тивной константы.

Эти результаты можно проиллюстрировать на сле-
дующем примере. Предположим, что мы хотим постро-
ить шкалу времени *ab initio* путем подсчета числа атомов
радиоактивного элемента, распадающихся в различные
интервалы времени. Предположим, что в некоторый мо-
мент мы знаем¹ общее число этих атомов в данном
источнике, который не содержит никаких других радио-
активных элементов. Предположим также, что мы мо-

жем зафиксировать распад каждого из этих атомов и
определить тем самым общее число атомов, остающихся
в любое мгновение и число распадающихся атомов за
любой интервал. Если в начале индивидуальной длитель-
ности общее число атомов исходного элемента есть n_0 ,
а число распадающихся в течение этой длительности
есть δn_0 , то мы можем принять долю распадающихся
атомов $\delta n_0/n_0$ за меру x этой длительности. Если в тече-
ние непосредственно следующей за ней длительности
число распадающихся атомов есть δn_1 , тогда мы на,
основании того же правила установили бы меру этой
длительности $y = \delta n_1/n_1$, где $n_1 = n_0 - \delta n_0$. Однако для
общей длительности, составленной из этих двух, следо-
вало бы установить меру $w = (\delta n_0 + \delta n_1)/n_0$. Ясно, что
 w было бы меньше арифметической суммы x и y . В са-
мом деле, непосредственно из простейших алгебраиче-
ских соображений следует, что

$$w = x + y - xy. \quad (2)$$

Это приводит к закону сложения, который удовле-
творяет требованиям как коммутативности, так и ассо-
циативности, причем «сумма» трех длительностей x , y
и z выражается следующей формулой:

$$x + y + z - xy - yz - zx - xyz$$

и т. д. Закон (2) легко можно свести к форме (1), учи-
тывая, что $1 - w = (1 - x)(1 - y)$ и, следовательно,

Если мы выберем новую шкалу мер, заданную следую-
щей формулой¹

$$X = \log_e L, \quad (3)$$

то мы получим закон сложения $W = X + Y$.

Из формулы (3) мы видим, что $X = \log_e(L)$. Сле-
довательно, если t обозначает новую шкалу времени и
 L берется равным нулю, когда n , число атомов исходного
элемента, было равно n_0 , то отсюда следует, что
 $L = n/n_0$. С более общей точки зрения, в соответствии

¹ Мы выбираем величину, обратную $1 - x$ и т. д., для того чтобы
обеспечить монотонное возрастание X и т. д.

¹ Нас интересует здесь чисто теоретическая сторона, а не прак-
тическая осуществимость рассматриваемого метода.

с нашими предварительными замечаниями о том, что конец шкалы времени определяется с точностью до константы умножения, мы запишем

и, следовательно, отсюда получаем

$$\frac{dn}{dt} = -\chi n.$$

Это уравнение по своей форме тождественно с хорошо известным законом радиоактивного распада Резерфорда — Содди. Поэтому с эмпирической точки зрения содержание этого закона сводится к следующим высказываниям:

(1) шкала t , определяемая им, совпадает в рамках пределов точности эксперимента с равномерным временем физики, определяемым другими способами, например с помощью астрономических наблюдений;

(2) с данным выбором единицы времени значение χ является одним и тем же для всех количеств данного радиоактивного элемента и не зависит от температуры, давления и т. д.

Наше предпочтение закона простого арифметического сложения временных интервалов обусловлено следующим критерием. Вообще, как правило, физические законы формулируются так, чтобы они не зависели от индивидуальных времен совершения событий, к которым они применяются, хотя проведенный нами выше анализ преднамеренно строился на более общих соображениях. Поэтому считается, что значение имеют только различия между временами событий, а не сами времена как таковые. Измерение времени зависит от представления о стандартном интервале времени, или периода, подобно представлению о стандартной единице длины. На практике различные единицы выбираются в зависимости от величины рассматриваемых временных интервалов. Последние измеряются с помощью умножения на число единичных периодов и поэтому автоматически подчиняются закону арифметического сложения.

Завершая нашу оценку этих теоретических соображений, хотелось бы обратить внимание на их практическое значение. Это наглядно иллюстрируется той ролью, которую в истории измерения времени играют механиче-

ские часы. Решающее значение этого изобретения состоит не столько в их точности, как бы в конечном счете ни было велико ее значение, сколько в том, что оно основано на периодических, а не на непрерывных процессах в противоположность солнечным, водяным и песочным часам древности. Эта зависимость от механического движения, которое повторяется вновь и вновь, приводит к более точному понятию единицы времени, аналогичной единице длины¹. Современная хронометрия ведет свое начало от открытия Галилеем естественного периодического процесса — качания маятника, который было удобно соединить с часовым механизмом для механического регулирования числа колебаний. Маятниковые часы были первым удовлетворительным механизмом для равномерного деления физического времени.

История установления окончательного естественного стандарта времени во всех отношениях связана с астрономическими наблюдениями. Час, минута и секунда долгое время определялись как части периода одного оборота Земли вокруг своей оси. Однако несколько лет назад в связи с возрастанием требований к измерениям высокой степени точности незначительные нерегулярности в скорости вращения Земли вынудили астрономов ввести более точную единицу времени, основанную на обращении Земли вокруг Солнца. Тем не менее все еще чувствуется потребность в естественной единице времени более фундаментальной, нежели любые из тех, которые могут быть выведены из астрономических наблюдений. Такая единица задается частотой конкретной линии атомного спектра. Оптические линии здесь непригодны, поскольку мы можем измерять только длины их волн. Однако открытие спектральных линий в радиоволновом

¹ Зависимость временных измерений от чисто естественной основы долго задерживала создание удовлетворительных часов. «Час времени» античности был одной двенадцатой частью дня от восхода до захода солнца и, таким образом, изменялся в течение всего года. Необходимость определить час времени повлекла за собою большую сложность античных водяных часов. Несмотря на все попытки астрономов древности ввести час, обладающий постоянной величиной, их предложения вообще не принимались до тех пор, пока в середине XIV столетия не появились механические часы с боем. Изобретение часового механизма, то есть принципа регулировки хода часов, как теперь полагают, было сделано китайцами (J. Neerill a m, et. al, Heavenly Clockwork, Cambridge, 1960).

диапазоне спектра излучения привело д-ра Л. Эссена из Национальной физической лаборатории к изобретению в период между 1955 и 1957 годами нового метода измерения времени, отличающегося удивительной точностью. В его часах магнитное поле, порождаемое переменным электрическим током, синхронизировано с некоторыми конкретными колебаниями атомов цезия. Эти атомы имеют по одному электрону на своих внешних оболочках, и взаимодействие между этим электроном и ядром порождает точно определенную линию в радиоволновом диапазоне (около 9200 мегагерц), соответствующую длине волны около трех сантиметров. Таким образом может быть получена фундаментальная шкала времени, которая совершенно не зависит от астрономического определения времени и является гораздо более точной. Ее точность составляет $1 : 10^{10}$, что соответствует точности механических часов, которые отставали бы или уходили бы вперед на 1 секунду за 300 лет¹.

¹ Недавно Р. Л. Мёссбауэр («Z. Physik», 151, 1958, 124) показал, что в некоторых твердых телах процесс γ -излучения происходит таким образом, что индивидуальные ядра не испытывают отдачи и импульс отдачи передается всей кристаллической решетке в целом. Исключительно четкая спектральная линия, полученная таким образом, открывает возможности для создания нового типа «ядерных часов», более точных, чем какие-либо «атомные часы»,

IV, Релятивистское время

I. ОПЫТНОЕ ВРЕМЯ И ЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Линейный континуум мгновений, составленный из накладывающихся друг на друга длительностей с помощью метода, который рассматривался в предыдущей главе, обладает, как было сказано, следующим важным свойством: первичные длительности соответствуют интервалам этого континуума. Эти длительности связывались с индивидуальным временем ощущающего наблюдателя. С другой стороны, интервалы или длительности времени, отсчитываемого часами, зависят, как мы видели, от конкретных внешних явлений, и поэтому они в течение долгого времени рассматривались как мера универсального времени физики. Корреляция между этими двумя различными видами времени была основана на принципе одновременности. Согласно этой гипотезе, каждому мгновению абстрактного линейного временного континуума, составленного из наших индивидуальных переживаний накладывающихся друг на друга длительностей, соответствует определенное состояние физической вселенной. На основе абстрактного понятия идеально точного наблюдения возникло представление о том, что время — это «движущееся лезвие ножа», не ограниченное каким-нибудь отдельным местом, но захватывающее все места одновременно.

Несмотря на всеобщее признание такой интерпретации времени, что, по-видимому, связано с глубоко укоренившейся естественной тенденцией соотносить микрокосм (самого себя) с макрокосмом (вселенной), эта идея единого мирового временного порядка является тем не менее в высшей степени сложным понятием. Это

умозрительная гипотеза, которая идет гораздо дальше нашего восприятия явлений, поскольку нет оснований полагать, что порядок последовательности наших восприятий тождествен с порядком последовательности внешних событий, который определяет соответствующие цепи явлений, составленные из этих восприятий. Сначала мы видим вспышку молнии, а затем слышим удар грома, однако мы считаем, что и то и другое есть проявление одного и того же электрического разряда. Иногда мы даже склонны постулировать полное обращение временного порядка внешних событий по сравнению с временным порядком их восприятия. Приведем пример из «Логике» Зигварта, где весьма глубоко обсуждается «определение времени»: «Когда зритель наблюдает издали строевое учение батальона солдат, то он видит, что согласованные движения здесь наступают внезапно, до того как он слышит голос команды или сигнальный звук трубы. Но на основании своего знания причинных связей он знает, что движение суть действие услышанной команды, что эта последняя, следовательно, должна объективно предшествовать первым»¹.

Поэтому, как рассуждал Кант, можно полагать, что универсальное или объективное определение времени необходимым образом зависит от принципа причинности: лишь поскольку я знаю, что одно событие является причиной другого, я могу с уверенностью сказать, что оно предшествует ему. Но наша вера в любое отдельное причинное отношение сама основывается на наблюдении того факта, что один тип событий регулярно предшествует другому. Поэтому наше знание относительно причинности основывается на временных последовательностях, наблюдаемых нами². Следовательно, как отмечает Зигварт, мы сталкиваемся с аргументом, в котором содержится логический круг, ибо для установления причинной связи необходимо, чтобы «мы могли утверждать с объективной значимостью, что *B* следовало за *A*; но, чтобы утверждать это с объективной значимостью, мы должны уже были познать причинную связь между *A* и *B*»³.

¹ Х. Зигварт, Логика, т. II, вып. 1, СПб., 1908, стр. 299.

² Дальнейшее обсуждение этой точки зрения см. в главе VI, параграф 2.

³ Х. Зигварт, цит. соч., стр. 300.

Вместо того чтобы согласиться с утверждением Канта, нам следует признать, что вся эта процедура является в целом гипотетической. Мы начинаем с *предположения*, что объективный порядок событий тождествен с субъективной последовательностью соответствующих им наших восприятий. Мы придерживаемся этой гипотезы до тех пор, пока она не вступает в конфликт с основным содержанием имеющегося знания. Всякий раз, когда возникает такой конфликт, мы делаем дальнейшие предположения относительно временных отношений между событиями и нашими восприятиями и принимаем эти предположения, исходя не из кантовского *априорного* принципа причинности и не из чисто эмпирических соображений, а в силу получающейся при этом согласованности всех следствий из этих гипотез с нашим знанием в целом. Практически мы выдвигаем предположение, что объективный порядок двух данных связанных событий должен согласоваться с уже ранее известным порядком подобных связанных событий, и делаем еще одно более глубокое предположение, что любое различие между этим порядком и порядком воспринимаемым может быть обусловлено некоторым различием в связях между соответствующими объектами и нашими восприятиями этих связей.

Следовательно, перед нами встают две проблемы: (1) как выбрать стандартную пару событий, с которой можно было бы сравнивать рассматриваемые отдельные события? (2) каким различиям связей мы должны приписывать различия между временными отношениями наших восприятий этих отдельных событий и восприятием стандартной пары?

Для решения первой проблемы необходимо обратить внимание на события, для которых порядок их восприятия автоматически совпадает с порядком самих этих событий. Это такие события, которые «одновременны» с вызываемыми ими восприятиями. С идеальной точки зрения ими могут считаться только те, которые происходят в нас самих. Однако на практике можно считать, что это события, происходящие достаточно близко, чтобы время прохождения соответствующего сигнала, например света или звука, было незначительным. Таким образом, в случае, упомянутом Зигвартом, зритель сравнивает маневры войск и сигнал трубы с подобным же

образом связанными событиями, которые он уже наблюдал вблизи. Переходя к решению второй проблемы, мы находим, что расхождение между наблюдениями зрителем маневров войск издали и его наблюдениями вблизи можно объяснить тем, что звук обладает меньшей скоростью по сравнению со светом.

В данном анализе фундаментальное значение имеет понятие одновременности в индивидуальном времени, связанное с восприятиями наблюдателя, причем предполагается, что существует корреляция этих восприятий с эпохами «одной линии времени». Как мы уже отмечали ранее, эту воспринимаемую одновременность следует отличать от точного понятия точноподобного мгновения математического времени, однако с помощью приборов его можно сделать более совершенным и точным. С другой стороны, понятие одновременности в универсальном или мировом времени является производным понятием, которое зависит от относительного положения внешнего события и способа связи между ним и восприятием его наблюдателем. Если известны расстояния до внешнего события, а также скорость «сигнала», связывающего его с возникающим восприятием, то наблюдатель может *вычислить* эпоху, в которую произошло событие, и соотнести ее с каким-то прошлым мгновением своего индивидуального времени. Однако для каждого наблюдателя результаты этого вычисления будут, очевидно, различными, и нет никакой предварительной гарантии, что можно будет установить одну временную последовательность событий, одинаковую для всех наблюдателей. Тем не менее, когда Зигварт писал свою книгу, и философы, и ученые повсеместно рассматривали как интуитивную, или самоочевидную, истину следующее утверждение: если мы нашли правила, согласно которым время восприятия определяется временем события, то все воспринимаемые события могут быть приведены в единую временную последовательность. Несмотря на ясность своего анализа, Зигварт безусловно предполагал, что этот метод влечет за собой сведение субъективного времени восприятия к объективному времени события¹.

¹ Х. Зигварт, цит. соч., стр. 303,

Первый, кто подверг сомнению справедливость этой точки зрения и полностью оценил следствия, вытекающие из ее отрицания, был Альберт Эйнштейн, который сделал это в своей знаменитой статье «К электродинамике движущихся тел», опубликованной в 1905 году¹. Эйнштейн ясно понимал, что рассмотренный выше метод приводит к установлению только *субъективного*, а не объективного времени для внешних событий. Кроме того, он видел не только *гипотетический* характер предположения, согласно которому *все* наблюдатели, если они¹ вычисляют правильно, должны приписывать одно и то же время одному и тому же событию. Он высказал также убедительные доводы, почему вообще необходимо отказаться от подобной гипотезы.

Теория Эйнштейна основывалась на предположении, что между внешними событиями и наблюдателем не существует никакой мгновенной связи. В силу решающего значения этой гипотезы мы рассмотрим исторические основания, которые привели к ее формулированию. Конечно, скорость распространения звука легко вывести из временного запаздывания эха, однако относительно распространения света долго считали, что оно является мгновенным. Раньше всех усомнился в истинности этого всеми признававшегося утверждения греческий философ Эмпедокл (ок. 490—435 до н. э.), который, согласно Аристотелю, «был неправ, утверждая, будто свет передвигается и распространяется в известный промежуток времени между землей и небесной твердью, нами же {это движение} не воспринимается»². Греки считали, что зрительные образы возникают вследствие излучения из глаз, а не вследствие излучения от видимых объектов, и на основании этой гипотезы знаменитый техник и изобретатель паровых машин эпохи эллинизма Герон Александрийский сформулировал следующее эмпирическое доказательство бесконечности скорости света. Если вы ночью, говорил он, повернете голову к небу, закрыв глаза, и затем внезапно откроете их, то вы увидите звезды немедленно. Следовательно, раз между мгновением открытия глаз и мгновением, когда впервые видят

¹ См. «Принцип относительности», Гостехиздат, Л.—М., 1935, стр. 133—175.

* Аристотель, О душе, Соцэкгиз, М., 1937, стр. 56«

звезды, не протекает никакого времени, свет (или зрение) распространяется мгновенно. Знаменитый ученый мусульманского мира Ибн-Сина (980—1073), напротив, считал, что свет обязан своим существованием излучению светонесущими источниками определенных частиц, и на этом основании сделал вывод, что его скорость должна быть конечной. К подобному же выводу пришел Альгазен (ок. 965—1039), который в своем трактате по оптике утверждал, что свет есть движение и поэтому в одно мгновение находится в одном месте, а в другое мгновение в другом. Следовательно, поскольку он не находится в обоих местах в одно и то же время, то должно существовать какое-то течение времени между двумя этими мгновениями и поэтому его передача не может быть мгновенной¹.

Тем не менее спустя несколько столетий мы находим, что Кеплер в своей «Диоптрике», опубликованной в 1611 году, возвращается к взглядам Аристотеля и утверждает, что поскольку свет нематериален, то он не может оказывать никакого сопротивления движущим силам и поэтому имеет бесконечную скорость. С другой стороны, Галилей в своих знаменитых диалогах о механике, опубликованных в 1638 году, обсуждал этот вопрос с гораздо более современной точки зрения². Он предложил следующий эксперимент: два лица, снабженные сигнальными фонарями, занимают позиции на расстоянии нескольких миль друг от друга. Как только один увидит свет другого, он открывает свой. Теоретический анализ Галилеем этой проблемы, как и в случае его исследований падения тел, далеко опередил современную ему экспериментальную технику, и в силу этого опыт был неосуществим. Галилей добавляет при этом, что он фактически пытался осуществить этот эксперимент на расстоянии меньше, чем одна миля.

Первое успешное эмпирическое доказательство конечности скорости света стало возможно после открытия спутников Юпитера, которые также впервые обнаружил Галилей с помощью своего телескопа. Они обеспечивают

соответствующее открывание и закрывание фонарей, которое требовалось для выполнения эксперимента Галилея. Наиболее ранние таблицы движения этих спутников, надежность и приемлемость которых были признаны другими астрономами, были опубликованы Кассини в 1668 году. Среди тех, кто впоследствии исследовал нерегулярности во времени затмений спутников Юпитера, был молодой датский астроном Олаф Кристенсен Рёмер (1644—1710), который работал над этой проблемой в Парижской обсерватории в 1675 году. В сентябре 1676 года он известил членов Академии наук, что затмение самого ближнего к Юпитеру спутника, ожидавшееся 9 ноября, случится десятью минутами позднее того времени, которое было вычислено на основании наблюдений прежних затмений. Рёмер объяснил, что эта задержка обусловлена тем, что свет распространяется не мгновенно, как, по существу, предполагали астрономы, а «постепенно», и что наблюдаемое время затмений зависит от расстояния между Юпитером и Землей, изменение которого колеблется в пределах расстояния, равного диаметру орбиты вращения Земли вокруг Солнца. Предсказание Рёмера было подтверждено с большей или меньшей точностью, и 21 ноября он зачитал перед Академией другое сообщение, в котором он установил, что время, требующееся свету для пересечения земной орбиты, было равно примерно 22 минутам³. Правильное значение этой величины меньше примерно на $5\frac{1}{2}$ минут. В действительности численный результат Рёмера не был подтвержден другими исследователями. Поэтому его *интерпретация* наблюдаемых нерегулярностей вообще не была признана во Франции, хотя была признана в Англии всеми, исключая Роберта Гука. Однако это не означало, что все английские астрономы приняли Рёмерову величину скорости света. Например, Ньютон в «Оптике», опубликованной впервые в 1704 году, утверждает в предложении XI книги II части III, что: «Свет распространяется от светящихся тел во времени и тратит около семи или восьми минут часа на прохождение от Солнца к Земле». Швялялась ли эта пересмотренная цифра результатом его

¹ I. B. Cohen, Roemer and the First Determination of the Velocity of Light, The Burndy Library Inc., New York, 1944, p. 9.

² Галилей Г., Соч., т. I, стр. 113 и след.

³ I. B. Cohen, op. cit., p. 26.

собственных вычислений или вычислений Галилея или Флэмстида, мы не знаем.

Гипотеза Рёмера получила всеобщее признание только после подтверждения ее, независимо от Рёмера, английским астрономом Джеймсом Брэдли в 1728 году, которое явилось следствием его попытки определить параллаксы (а следовательно, и расстояния) звезд на основе движения Земли по своей орбите. Брэдли выбрал отдельную звезду, для которой нашел годовое смещение в виде малого эллипса, но, к своему удивлению, обнаружил, что наблюдаемые смещения на 90 градусов отклонялись от тех, которые ожидалось. Наблюдения над другими звездами привели к подобным же результатам. Хорошо известно, что Брэдли нашел объяснение этого явления во время прогулки по Темзе на парусном корабле. При наблюдении совместных действий ветра и движения корабля на корабельный флаг ему пришла мысль объяснить свои наблюдения над звездами совместным движением света и Земли. В своем классическом сообщении Королевскому обществу он писал: «Наконец я догадался, что все вышеупомянутые явления происходят от поступательного движения света и годового движения Земли по своей орбите. Так, я полагаю, что если распространение света происходит во времени, то видимые места неподвижных предметов не будут теми же самыми, когда глаз покоится и когда он движется в каком-нибудь направлении, отличном от линии, проходящей через глаз и объект. Когда глаз движется в разных направлениях, кажущиеся места объекта будут разными»¹. Направление, в котором телескоп должен быть установлен на данную звезду, будет поэтому определяться сложением вектора скорости Земли с вектором скорости света, идущего от звезды, и будет изменяться, поскольку направление вектора скорости Земли изменяется в течение всего года. Брэдли вывел из величины полученной им «константы аберрации» (которой, как он утверждал, не существовало бы, если бы скорость света была бесконечной), что время, необходимое свету для прохождения расстояния от Земли до Солнца, равно 8 минутам 12 секундам — величина, бо-

J. Bradley, «Phil. Trans. Roy. Soc.», January 1729,

лее близкая к полученной Ньютоном, чем к той, которая была получена Рёмером.

Работы Брэдли привели к окончательному признанию гипотезы о конечной скорости распространения света. Однако эксперимент Галилея в чисто земном масштабе был выполнен наконец только в* 1849 году французским физиком Физо. В эксперименте Физо луч направлялся между зубцами вращающегося зубчатого колеса и, пройдя затем несколько миль, отражался и возвращался по тому же пути. Если колесо вращается достаточно быстро, то может получиться так, что возвращающийся свет не пройдет между зубцами. Методика этого опыта была усовершенствована Корню, который в 1874 году получил для скорости света в воздухе значение, равное 300330 км/сек¹.

В 1873 году Джеймс Клерк Максвелл опубликовал свой великий труд «Электричество и магнетизм», в котором объяснил, что свет является формой электромагнитного излучения, а в 1887 году Герц впервые получил тот тип электромагнитных волн, которые мы теперь называем радиоволнами. Позднее было обнаружено, что волны, принадлежащие к этой части спектра, приходят к нам от Солнца, Млечного Пути и дальних объектов внегалактического пространства, и радиоастрономия является в настоящее время важным добавлением к визуальной астрономии при наблюдении физической вселенной. Все имеющиеся в нашем распоряжении доказательства указывают на то, что между внешними событиями и нами самими нет никаких связей, которые распространялись бы быстрее, нежели электромагнитные².

¹ Последнее наиболее точное определение скорости света в вакууме дало значение $299792,50 + 0,10$ км/сек (K. D. Froom, «Proc. Roy. Soc.», A, 247, 1958, 109).

² Конечно, мы можем рассматривать скорости большие, чем c (скорость распространения электромагнитных волн в пустоте), например в среде, индекс преломления которой меньше единицы, или если мы возьмем длинный стержень, повернутый на очень небольшой угол а по отношению к данной прямой, и начнем двигать его по направлению, перпендикулярному к ней, то скорость точки пересечения может превысить c , хотя скорость движения стержня — нет. Однако ни в коем случае мы, не можем послать сигнал со скоростью \hat{c} , превышающей c . В первом случае рассматриваемая скорость является волновой скоростью, но сигнал может передаваться толь-

Следовательно, все наши наблюдения над удаленными событиями связаны с некоторым запаздыванием времени. Это означает, что *мир, наблюдаемый в данное мгновение индивидуального времени, нельзя отождествлять с миром как он есть в определенное мгновение универсального времени*, ибо чем больше удален объект, тем больше отстает его время от времени наблюдателя. Вместо наблюдения последовательности пространственных состояний вселенной мы видим последовательность пространственно-временных сечений. Как однажды заметил Эддингтон, «время, как мы теперь понимаем его, было открыто Рёмером», поскольку мы спустя столетия медленно пришли к ясному пониманию того, что его исследования впервые обнаружили фундаментальное физическое различие между локальным временем и временем на расстоянии.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НА РАССТОЯНИИ (I)

Поскольку определение времён осуществления удаленных событий не является простым процессом регистрации показаний часов, перед нами возникает следующая проблема: если имеется наблюдатель, ощущающий время и часы, которые измеряют временные интервалы этих временных ощущений, как может он определить время совершения удаленных событий? Впредь я -буду именовать эту проблему *проблемой Эйнштейна*, поскольку она явилась исходным пунктом его теории. Ясно, что решение должно зависеть от природы связей между удаленными событиями и наблюда'телем. Если наблюдателю известно расстояние от места, где произошло событие и скорость, с которой пришел к нему сигнал, извещающий об этом событии, тогда, отметив время восприятия сигнала, он может вычислить время осуществления события. Однако скорость опре-

ко импульсом, или группой волн, которые передвигаются с групповой скоростью. В своем классическом исследовании Зоммерфельд показал, что она меньше c для любой среды. В последнем случае рассматриваемая скорость никогда не может действовать как связь между причиной и следствием. Поэтому *с является максимальной скоростью передачи информации*.

деляется путем измерения пространства и времени, и, таким образом, может показаться, что мы должны уже знать, как измерять время во всех местах, проходимых сигналом до того, как можно будет правильно приписать удаленному событию какой-либо момент времени. Следовательно, имеется опасность, что здесь мы сталкиваемся с логической ошибкой *petitio principii*.

Этой трудности можно избежать, *предположив*, что скорость сигнала является 'универсальной константой. В таком случае, при условии, что сигнал передан от некоторого события к наблюдателю, для определения времени данного события наблюдателю необходимо знать лишь расстояние до него. В случае электромагнитных волн теория Максвелла дает константу, которую автор отождествил со скоростью света в пустоте. Эйнштейн в своей статье 1905 года выдвинул предположение, что эта скорость является универсальной константой природы, одинаковой для всех наблюдателей, связанных с инерциальными системами отсчета'. Эта гипотеза шла гораздо дальше имевшихся в наличии экспериментальных данных, так как, хотя результаты рассмотренных выше методов определения скорости света согласуются между собой, они дают ограниченную эмпирическую информацию: метод Физо дает значения этой скорости для относительно небольших участков поверхности Земли, метод Брэдли определяет только скорость света, который поступает в телескоп, а метод Рёмера дает ее среднее значение для расстояния между орбитой Юпитера и Землей. Эйнштейн отдавал себе полный отчет в *конвенциональной* природе определения времени удаленных событий. Именно ясное понимание этого фундаментального положения позволило ему открыть новую главу в истории физики.

В специальной теории относительности, основы которой изложены Эйнштейном в статье 1905 года, предполагается, что в евклидовом пространстве свет распространяется равномерно и прямолинейно. В общей теории относительности, разработанной Эйнштейном десять лет спустя, это условие выполнялось только в тех случаях, когда можно пренебречь силами тяготения. В присут-

¹ Так называются системы, в которых справедливы законы движения Ньютона. Они находятся в состоянии относительного равномерного и прямолинейного движения или относительного покоя.

ствии тяготеющих тел скорость света не является строго равномерной и прямолинейной, хотя локальная скорость света, определяемая с помощью совмещающих часов и линеек, везде одна и та же. С точки зрения ее последующего развития становится ясным, что в первоначальной гипотезе Эйнштейна, выдвинутой им в 1905 году, содержалось три различных принципа:

(1) *локальная* скорость света, если она измеряется в непосредственной близости от себя наблюдателем, связанным с инерциальной системой и вооруженным стандартными часами и линейкой, является универсальной константой c ;

(2) поскольку действием тяготения можно пренебречь, свет распространяется по евклидовым прямым;

(3) для каждого наблюдателя, связанного с инерциальной системой, скорость света *нелокально* также является той же самой универсальной константой c .

Из этих принципов два, (1) и (2), поддаются эмпирической проверке при условии, что мы пользуемся часами и линейкой, которые определены *независимо* друг от друга, однако (3) представляет собой открытое определение, позволяющее наблюдателю приписывать моменты нелокальным событиям.

Знаменитый эксперимент по проверке принципа (1) был осуществлен Майклсоном и Морли в 1887 году. С помощью интерферометра, который был изобретен несколько ранее, было найдено, что средняя скорость света, проходящего в лабораторных условиях туда и обратно расстояние 22 метра, действительно была одной и той же для всех направлений в любое время года¹.

¹ За тот короткий период времени, в течение которого протекает каждый эксперимент, данного наблюдателя можно отождествить с определенной инерциальной системой. Эксперимент показал, что скорость света была одной и той же относительно всех инерциальных систем. Самое свежее подтверждение этого результата было получено осенью 1958 года с помощью установки для усиления излучения, известной под названием «мазера» (это слово образовано из начальных букв выражения «microwave amplification by stimulated emission of radiation» (maser), что в переводе означает «усиление сверхвысоких частот с помощью вынужденной эмиссии излучения»), и разработанной Таунсом и его сотрудниками в Колумбийском университете в Нью-Йорке. (Одновременно молекулярный генератор типа мазера был создан в СССР И. Г. Басовым и А. М. Про-

Что касается принципа (2), то доказательство прямолинейного распространения света было известно давно, и до экспедиции 1919 года по наблюдению за солнечным затмением не было получено каких-либо астрономических доказательств, противоречащих этому принципу. Сейчас мы считаем, что световые лучи, идущие от далеких звезд, испытывают небольшое угловое отклонение, когда проходят вблизи таких центров тяготения, как, например, Солнце.

Переходя к принципу (3), мы сталкиваемся с проблемой другого характера. Если говорить об этом принципе как о средстве определения времени на расстоянии, то можно было бы предположить, что, по существу, он является произвольным соглашением, которое выбирается только по причине его математической простоты. Но простой факт, состоящий в том, что в общей теории относительности мы вынуждены ослабить этот принцип, показывает, что он имеет более глубокие корни. В этой теории пространство и время сами подвержены влиянию тяготения, и скорость света (относительно данного наблюдателя) не является повсюду равномерной и прямолинейной во всем поле силы тяжести тела. Когда теоретики-космологи пренебрегают локальным действием тех или иных тел, они рассматривают вселенную в целом как приблизительно однородную — в достаточно больших масштабах. Однако данные наблюдения дают основания полагать, что вселенная, видимо, может систематически изменяться во времени. Отсюда следует, что время, необходимое свету для того, чтобы пройти от

хоровым. — Прим. перев.) Мазер имеет полость, в которую направляется пучок молекул аммиака, летящих с большой скоростью. Молекулы в полости начинают колебаться и генерировать радиоволны. Измерение частоты этих генерируемых радиоволн дает возможность точного измерения отрезка времени. Частота радиоволн, генерируемых пучком молекул аммиака, направленных в сторону орбитального движения Земли вокруг Солнца, сравнивалась с частотой радиоволн, генерируемых пучком молекул, движущихся в противоположном направлении. Если бы орбитальное движение Земли влияло на наблюдаемые скорости волн, то частоты этих двух видов радиоволн должны были бы различаться на 20 герц, однако на самом деле, кроме небольшого магнитного эффекта (вызванного земным магнетизмом и помехами от находящегося поблизости электрического оборудования), не было обнаружено никаких отклонений, превышающих 50 герца (см. J. P. Cederholm and Q. H. Townes, «Nature», 184, 1959, 1350),

одной галактики¹ до другой, изменяется согласно какому-то общему закону. Это явление может выражаться либо в виде непрерывного изменения расстояния между каждой парой галактик, либо в виде вековых изменений скорости света².

Поэтому, как мне кажется, не следует безоговорочно соглашаться с предположением о возможности определения, хотя бы в принципе, времени удаленных событий, если постулируется, что скорость света всегда и везде является универсальной константой. Этот вопрос необходимо рассмотреть в целом, с более общей точки зрения. Мы увидим при этом, что наш анализ приведет к взаимно исключающим возможностям, из которых при рассмотрении вселенной как целого следуют важные выводы.

Сначала мы дадим определение часов, которыми наблюдатель A пользуется для регистрации локального времени, как некоторого -физического механизма такого типа, который был уже рассмотрен нами в параграфе 8 главы III. Предположим, что в принципе существует точный момент осуществления таких событий, как эмиссия или принятие любого сигнала наблюдателем A . Таким образом, он может приписать каждому такому событию определенное число из континуума вещественных чисел.

Теперь рассмотрим событие E_0 , которое происходит вообще где-то вне системы отсчета наблюдателя A . Предположим для теоретического анализа, что оно произошло в каком-то механизме B , который может мгновенно³ отражать сигналы, полученные из A . Мы будем рассматривать связь между удаленным событием E_0 и двумя другими событиями E_1 и E_2 , которые происходят в A . E_1 есть акт излучения наблюдателем A того самого

сигнала, который прибывает в B в момент осуществления события E_0 , а E_2 — это восприятие наблюдателем A того сигнала, который излучается в B в момент события E_0 . Мы можем предположить также, что существуют различные сигналы, которые покидают точку A в различные моменты, однако в B прибывают* одновременно. Точно так же мы можем предположить, что существуют различные сигналы, которые покидают B совместно, но прибывают в A в разные моменты. Поскольку нас интересует только наиболее быстрый сигнал, связывающий

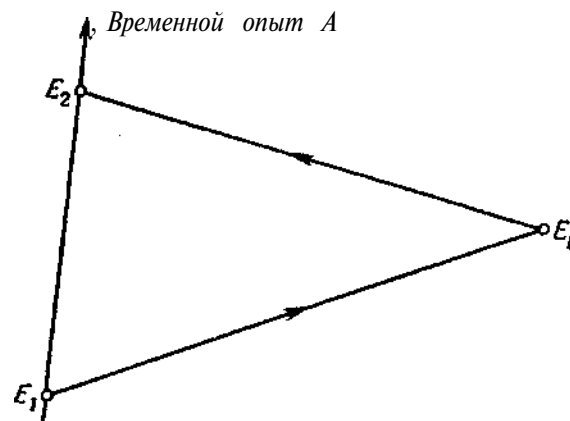


Рис. 5.

A и B , то мы дадим E_1 и E_2 следующее единственно возможное определение. E_1 случается в *самый последний* момент времени t_h , который в опыте наблюдателя A является *самым последним* моментом, когда он еще имеет возможность послать сигнал в B таким образом, чтобы он прибыл туда одновременно с осуществлением события E_0 . Соответственно E_2 случается в *самый ранний* из моментов опыта наблюдателя A — I_2 , когда он может получить сигнал, излученный в B в момент осуществления E_0 . С физической точки зрения эти условия [будут связаны распространением в пустоте электромагнитных волн, например световых.

Мы будем предполагать, что в данной физической [ситуации все события E_0 , E_1 и E_2 происходят, хотя мы

¹ Строго говоря, здесь речь идет о скоплениях галактик, а не об отдельных галактиках.

² Между прочим, непрерывные вековые изменения скорости света по мере преодоления им межгалактического расстояния означают соответствующее видоизменение условия (1).

³ Анализ, который осуществляется далее, основывается на следующем постулате: наблюдатель A приписывает эпохе отправления обратного сигнала из B и эпохе прибытия в B первичного сигнала одно и то же время, (Позднее мы будем считать, что эти два события будут одновременными в действительном опыте наблюдателя, находящегося в B .)

можем представить себе и такое событие E_a , которое вообще недостижимо для наблюдателя A , какие бы сигнальные процессы он для этого ни применял. Например, какое-нибудь событие, происшедшее в системе, которая удаляется от A столь быстро, что никакой сигнал из A не может догнать ее. Далее, мы можем вообразить такую ситуацию, в которой E_1 и E_a происходят, а никакого конечного события E_2 не случается. Пока мы не будем рассматривать эти возможности¹.

Проблему Эйнштейна можно теперь анализировать на основе следующих аксиом².

Аксиома I. Постулат причинности: $t_2 > t_1$, если E_a произошло не в A , в противном случае $t_2 = t_1$.

Это означает, что мы исключаем возможность того, чтобы событие E_2 могло быть воспринято наблюдателем A до события E_1 . В соответствии с общепринятой практикой мы будем называть времена /1 и 4 соответственно *запаздывающим временем* и *опережающим временем* относительно наблюдателя события E_a .

Аксиома II. Постулат изотропности пространства: эпоха t_a , теоретически приписываемая наблюдателем, A событию E_B , определяется отношением, имеющим следующую форму: $t_B = f(t_a, t_i)$, где f есть однозначная функция от t_a и t_i .

Эта аксиома означает, что функция f , определение которой составляет нашу задачу, не зависит от пространственной ориентации события E_B относительно системы отсчета A . Например, если траектории рассматриваемых сигналов (под которыми для удобства мы отныне будем понимать световые сигналы) являются прямолинейными, тогда f не зависит от направлений этих траекторий. Ее можно рассматривать как теоретическое обобщение результата опыта Майклсона-Морли, согласно которому средняя локальная скорость света при прохождении им пути туда и обратно является одинаковой во всех направлениях.

Прежде чем сформулировать остальные аксиомы, мы введем понятие упорядоченного ряда событий, лежа*

¹ См. параграф β главы V.

² Один и тот же символ $>$ можно использовать для обозначения числового отношения между числами $<j$ и $(i$ (i больше t_i), а также для обозначения временного отношения между мгновениями, к которым они относятся (t позже t_1),

шего на одной и той же *траектории светового луча*, то есть на траектории данного светового сигнала.

Аксиома III. Траектории световых лучей, связывающие E_1 с E_B и E_B с E_2 , являются, вообще говоря, единственными.

Мы будем говорить, что события E_1 , E_B и E_2 «происходят в этом порядке» на траектории светового сигнала, выходящего из системы A в момент события E_1 , если световой сигнал, излученный A в момент осуществления события E_1 , может быть получен в B в момент осуществления события E_B и может быть мгновенно переотправлен таким образом, что достигает другого механизма C в момент осуществления события E_2 , совпадающий с прибытием в C светового сигнала, отправленного из A в момент события E_1 . Подобное определение может быть сформулировано и для событий, находящихся на траектории светового луча, оканчивающегося в системе A в момент события E_2 . Если момент, который, с точки зрения наблюдателя A , опережает события E_1 , есть t_a ($t_a > t_2$), тогда в соответствии с сформулированным выше правилом (аксиома II) эпоха, теоретически приписываемая наблюдателем A событию E_1 , будет определяться по формуле $t_1 = f(t_a, t_2)$.

Что касается этих теоретически определяемых эпох, то мы накладываем на них следующее условие:

Аксиома IV. Постулат временного порядка на расстоянии: если E_1 , E_B , E_2 происходят в указанном порядке на траектории светового сигнала, отправленного из A в момент E_1 , тогда $t_1 > t_2$, точно так же, если E_1 , E_B и E_2 происходят в этом порядке на траектории светового сигнала, получаемого в A в момент E_2 , тогда $t_1 > t_2$.

Теперь мы введем три аксиомы, которые касаются пространственных отрезков, описываемых, согласно наблюдателю A , траекториями световых сигналов, связывающих гипотетические события E_B и E_2 .

Аксиома V. Постулат однородности пространства: расстояние, которое, согласно наблюдателю A , покрывается световым сигналом на его пути между событиями E_B и E_2 , характеризуемыми соответственно эпохами t_B и t_2 , теоретически определяется наблюдателем

¹ В соответствии с нашим ограниченным пониманием «наиболее быстрого» сигнала.

по формуле $z(E_c, E_b) = \phi(\tau_c, t_b)$, где ϕ есть положительная однозначная функция t_c и t_b . Она имеет одну и ту же форму независимо от того, посылается ли сигнал наблюдателем A или же он получает его.

Аксиома VI. Закон сложения смежных отрезков, лежащих на одной и той же траектории светового луча:

$$z(E_c, E_b) - z(E_b, E_a) = z(E_c, E_a),$$

где E_a, E_b, E_c происходят в указанном порядке на траектории, начинающейся в E_a , и

$$z(E_c, E_b)$$

где E_D, E_F, E_G происходят в указанном порядке на траектории, оканчивающейся в E_D .

Аксиома VII. Согласно наблюдателю A , расстояние, покрываемое световым сигналом, отправленным A в момент E_I и мгновенно отраженным в E_B , равно расстоянию, покрываемому сигналом на его обратном пути, оканчивающемся в точке A в момент события E_J .

Аксиома V именуется «постулатом однородности пространства», поскольку она говорит о том, что расстояние, покрываемое световыми сигналами за промежуток времени, истекший между двумя данными эпохами (теоретически определяемыми наблюдателем A), является одним и тем же, в какой бы области пространства ни двигался световой луч. Позднее мы рассмотрим обобщенную формулировку этой аксиомы, которая включает в себя и случай, когда траектория светового луча не начинается и не оканчивается в точке пребывания наблюдателя.

Аксиома VII эквивалентна утверждению, что наблюдатель A рассматривает самого себя как покоящегося. Если бы наблюдатель A считал, что он движется, то эта аксиома была бы, вообще говоря, неуместной, ибо в течение интервала времени между E_I и E_J ему нужно было бы учитывать свое передвижение относительно пространственных координат события E_B .

Из аксиомы VI следует, что

где $t_c > t_b > t_a$. Положив $x = t_c$, $y = t_b$ и $a = t_a$, мы получим

Поэтому, заменяя $\phi(x, a)$ на K^* и $\phi(\tau/, a)$ на $|(z/)$, мы приходим к выводу, что ϕ , которое должно быть положительной величиной, определяется по формуле:

где $x > y$ и $|$ является некоторой однозначной монотонно возрастающей функцией $'$ от своего аргумента. Сопоставляя этот результат с аксиомой VII, мы получаем, что

$$r(E_b, E_a) = S(\wedge) - E(<i) = ?(<2) - 6(/_B). \quad (1)$$

Следовательно, подставив τ вместо $z(E_b, E_a)$ и t вместо t_b мы получим, что

$$| \quad (2)$$

$$} - \quad (3)$$

Поскольку $|(/)$ есть монотонно возрастающая функция t , то существует единственная обратная функция $|\wedge'(0 >$ и поэтому мы можем переписать формулу (3) в следующем виде:

$$\Gamma^1 [-g- \quad (3')$$

В согласии с нашими аксиомами формулы (2) и (3) дают общий критерий для установления эпохи $/$ и расстояния z любого события с помощью эпохи \wedge , которая отстает во времени от него, и эпохи t_b , которая его опережает.

Авторы работ, посвященных анализу оснований теории относительности, часто отмечают, что время t (если придерживаться нашего обозначения), теоретически приписываемое удаленному событию, должно быть таким, что $t_i < t < t_j$, поэтому

$$t = t_i + \epsilon(t_j - t_i), \quad (4)$$

где $0 < \epsilon < 1$. Однако они, как правило, ничего не говорят по этому поводу, кроме того, что условие Эйнштейна $\epsilon = 1/2$ является наиболее простым из всех возмож-

¹ Мы будем считать, что эта функция является дифференцируемой.

ных'. Поскольку $|f|$ является монотонно возрастающей функцией, отсюда сразу видно, что t , определенное через t_1 и t_2 с помощью уравнения (3), автоматически удовлетворяет условию $t_1 < t < t_2$, независимо от конкретной формы $|$. В формуле (3) содержится, однако, больше информации, нежели в формуле (4). Существует интересное истолкование этого уравнения с помощью теории средних и выпуклых функций, ибо оно определяет общее среднее между t_1 и t_2 , которое включает в себя обычное арифметическое, геометрическое и гармоническое среднее как частные случаи, появляющиеся, когда $\mathcal{L}(\cdot)$ есть t , $\log t$ и $1/t$ соответственно.

Проверив, мы можем убедиться, что добавление любой произвольной константы c , к функции $|$ не вносит никаких изменений в формулы (2) и (3). С более общей точки зрения мы можем показать, что общую форму, которая дает одно и то же значение t для любого данного значения t_1 и t_2 , можно выразить с помощью соотношения

$$(5)$$

где $|_0$ есть любая частная форма $|$, дающая это значение t , а Y — произвольная постоянная с положительным знаком. Ибо если $|$ и $|_0$ удовлетворяют формуле (3) при одних и тех же значениях t_1 , t_2 и t_0 , то отсюда следует, если записать $t = t_0 + Y \cdot \mathcal{L}(x)$ и $t = t_0 + Y \cdot \mathcal{L}(y)$, что

Поскольку $|$ и $|_0$ являются непрерывными функциями, то и F также должна быть непрерывной. Легко показать, например, графически, что F должна быть линейной функцией; это следует из формулы (5). (Соответственно изменение от $|_0$ к $|$ представляет собой изменение от K_1 к K_2 , однако все отношения между расстояниями остаются неизменными.)

¹ H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time* (trans. M. Reichenbach and J. Freund), New York, 1958, p. 127; H. Törnebohm, *A Logical Analysis of the Theory of Relativity*, Stockholm, 1952, p. 20.

² Г. Г. Харди, Е. Литтлвуд и Г. Полна, *Неравенства*, Издательство иностранной литературы, 1948, гл. III.

Частная форма $|(\cdot) = t$ дает арифметическое среднее $\frac{t_1 + t_2}{2}$. В общем случае естественно сравнивать $|$ с t_a . Если $t > t_a$ для всех t_1, t_2 , тогда

и таким образом функция $|(\cdot)$ должна быть выпуклой¹. Точно так же, если $t < t_a$, для всех t_1, t_2 , то обратная функция $|^{-1}(X)$ должна быть выпуклой. С более общей точки зрения необходимым и достаточным условием того, что значение t , задаваемое функцией $|$, всегда превышало бы (было бы позже, чем) значение, задаваемое другой функцией $|^*$ для тех же самых t_1, t_2 , является выпуклость функции $| \cdot |^*$.

Функция $|(\cdot)$ допускает простое физическое истолкование. Из формулы (1), заменив t_b на t , мы делаем вывод, что скорость светового сигнала, с точки зрения наблюдателя A , задается $\pm |(\cdot)$, где $\mathcal{L}(\cdot)$ означает производную от $|(\cdot)$ знак плюс относится к уходящему сигналу, а знак минус к приходящему. Мы видим, что скорость светового сигнала во всех точках в одну и ту же теоретическую эпоху t является одинаковой. До сих пор мы ограничивались рассмотрением сигналов, распространяющихся, с точки зрения наблюдателя A , в радиальных направлениях, однако мы можем распространить аксиому V на любые два события, для которых нет необходимости лежать на одной и той же траектории светового луча, проходящей через точку A . Отсюда следует, что наблюдатель A приписывает одну и ту же скорость $|(\cdot)$ любому световому сигналу, проходящему через точку B в любом направлении в эпоху t , согласно точке зрения наблюдателя L . Тот факт, что частный случай, когда $|(\cdot)$ является постоянной, соответствует $t = \frac{t_1 + t_2}{2}$ был впервые установлен Эйнштейном.

¹ Хорошо известно, что если функция обладает второй производной, то необходимым и достаточным условием того, чтобы эта функция была выпуклой, является то, что ее первая производная есть неубывающая функция ее аргумента.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ НА РАССТОЯНИИ (II)

До сих пор мы занимались получением более общего решения проблемы Эйнштейна, чем это предполагалось им самим при создании специальной теории относительности. Мы еще вернемся к этому более общему решению в V главе, а здесь рассмотрим выводы, вытекающие из следующей дополнительной аксиомы.

Аксиома VIII. Временной интервал $(t_c - t_b)$ между моментами t_b, t_c , теоретически устанавливаемый наблюдателем A, для любых двух событий E_b, E_c , не зависит от выбора нулевого момента времени на часах наблюдателя A.

Это означает, что когда часы, которые имеются у наблюдателя A, вновь выверяются путем изменения нулевого момента так, что $t \rightarrow t + a$, $t_2 \rightarrow t_2 + a$, то в этом случае t , задаваемое уравнением (3'), а именно

также подвергается преобразованию $t \rightarrow t + \delta$. Следовательно, для всех a

$$\delta(a) = - \quad (6)$$

Из условия (5) при сравнении соотношений (3) и (6) следует, что

$$\delta(a) = - \delta(a), \quad (7)$$

где δ и δ не зависит от t , а $K_0 = 0$.

Мы уже видели, что добавление произвольной константы $\delta(t)$ не вызывает никаких изменений в форму-

¹ Если мы сделаем менее строгим постулат однородности (аксиома V), то мы получим еще более общее решение. Однако интересно отметить, что формула (3) для определения времени на расстоянии все еще имеет силу, когда радиальная скорость сигнала задается функцией вида $\Gamma(t)dy/dr$, хотя в формуле (2) символ m заменяется теперь на $\langle r \rangle$ интегралом относительно z от $\Phi'(z)$. В частном случае, когда $\Gamma(z) = c$, а $\langle r \rangle = (1 - 2Gm/c^2r)^{-1/2}$, получается радиальная скорость света, соответствующая хорошо известной метрике Шварцшильда в общей теории относительности. Здесь G — гравитационная постоянная, m — точечная масса, а c — предельная скорость света на бесконечности.

лах (2) и (3). Поэтому при желании мы можем принять $\delta(0) = 0$. При этом условии мы находим, что формула (7) дает $\delta(a) = \delta(a)$ и, следовательно, ее можно заменить на

$$\delta(a) = X(a) - \delta(0). \quad (8)$$

Поменяв местами t и a и произведя вычитание, мы увидим, что

$$-1 = \delta(a)$$

Поэтому, поскольку δ и a не зависят друг от друга, то отсюда следует, что

$$X(a) = 1 - \delta(a). \quad (9)$$

где a не зависит от t .

Если $a = 0$, тогда уравнение (8) принимает следующий вид:

Это функциональное уравнение Коши, единственным непрерывным решением которого является

$$S(a) = ca. \quad (10)$$

где c является постоянной. Однако, если $a \neq 0$, тогда, подставив (9) в (8), мы находим, что

Это уравнение легко сводимо к формуле Коши и имеет следующее решение:

где k является константой. Следовательно, из (9) мы делаем вывод, что

$$\delta(a) = ka. \quad (11)$$

Это выражение приводит нас к формуле (10), если $a = k/c$, а $k = c$.

Опуская аддитивную постоянную в (11), которая вообще не имеет отношения к делу, и заменяя $1/a$ на c/a , а k на I/c , мы получаем $\delta(a) = c/a$, откуда (2) и (3) дают

$$\delta(a) = -\frac{I}{c} \left(\frac{c}{a} \right) - \quad (12)$$

$$V \ll^* = -i \quad (13)$$

Мы можем немедленно убедиться, что (13) удовлетворяет аксиоме VIII. С другой стороны, изменение в выборе нулевого момента времени влечет за собою умножение всех расстояний g , которые задаются формулой (12) на один и тот же масштабный множитель. Однако при изменении нулевого момента времени не меняется ни одно из *отношений* между этими расстояниями¹. Рассмотрим теперь следствия, вытекающие из изменения единицы измерения времени.

Аксиома IX. Все времена, теоретически устанавливаемые наблюдателем A для удаленных событий, умножаются на один и тот же масштабный множитель, если единица времени наблюдателя A меняется произвольным образом.

Эту аксиому следует понимать так: *формула, выражающая t как функцию t_1 и t_2 , не содержит никакой константы, обладающей размерностью*². Поскольку $t \rightarrow t - Kt$ всякий раз, когда $t \rightarrow Kt$, а $t \rightarrow Kt$, то мы с помощью аргументации, аналогичной той, которая вытекает из аксиомы VIII, делаем вывод, что для всех $K > 0$

¹ Нетрудно показать, что уравнение (11) дает единственную форму $|(<)$, для которой это положение является верным. Ибо g должно удовлетворять функциональному уравнению следующего типа:

для всех допустимых t, t_1 и a , где $K(a) > 0$ и не зависит от t_1 и t . Поскольку

$$\ll(a + t) - K(a) S ft = i(t, + \ll) - K(a) S ft,$$

то отсюда следует, что для всех t

где $L(a)$ не зависит от t . Сравнивая с (7), мы видим, что $|(t)$ должно иметь вид, записанный в формуле (11).

² Связанные с ней формулы для расстояния и скорости света будут *необходимым* образом включать некоторые константы, обладающие размерностью.

где $X(C)$, $ii(K)$ являются функциями от K и $K(K) \neq 0$. Рассматривая $\%(t)$ как функцию от $\log t$, мы находим общую формулу для $|\cdot$

$$(14)$$

с точностью до произвольной аддитивной постоянной. Заметим также, что когда $a = k/b$, а $/(\rightarrow 0$, то $|(/)$ пропорциональна $\log t$. Записав $a = 1/a$, из формулы (14) получаем'

$$r = ia(tf \text{ — } /?) \quad (15)$$

$$* \ddot{A} = \frac{1}{*} \cdot \frac{k}{2} \quad (16)$$

В единственном случае, когда $\%(t)$ пропорционально t , мы имеем

$$' \cdot " '(i) \quad (17)$$

$$(18)$$

скорость света при этом обратно пропорциональна t . В этом случае все эпохи должны иметь один и тот же знак. Эпоха $t = 0$ является единственной, и в это время скорость света была бы бесконечной.

Мы нашли, что $\mathcal{L}(/)$ совместима как с аксиомой VII, так и с аксиомой IX только в той форме, которая задана формулой (10).² Отсюда следует вывод, что единственным решением² проблемы Эйнштейна, совместимым со всеми сформулированными выше аксиомами, является то, которое было предложено самим Эйнштейном при формулировании специальной теории относительности, а именно

$$' " \cdot " \cdot \quad (19)$$

¹ Мы видим, что формулы (16) и (18) в отличие от (13) не содержат никаких постоянных с временной размерностью.

² Решение (13), связанное с тем, что скорость света пропорциональна v^* , применимо в случае вселенной де Сиггера (см. стр. 308).

Это частное правило установления времени для удаленных событий связано с законом расстояния

$$r = 4c (*, -*!), \quad (20)$$

для постоянной скорости света c .

Нетрудно заметить, что в данном анализе мы не прибегали к понятию идеально твердого тела, так как это предполагается в классической теории измерения пространственных величин. Тем не менее мы получили не только правило для установления времени удаленных событий, но также и правило для измерения пространства (в частности, если мы для определения длин любых траекторий световых лучей в пустоте опираемся на обобщенную форму аксиомы V). В своей статье, опубликованной в 1905 году, Эйнштейн явно придерживается понятия твердого тела, однако Пуанкаре¹ в статье о динамике электрона, опубликованной в следующем году, показал, что если мы постулируем существование конечной неизменной скорости светового сигнала c , то мы можем обойтись без понятия твердого тела как основы для измерений пространства. В таком случае все измерения в пространстве можно проделать с помощью соответствующих показаний времени. Расстояния, проходимые, с точки зрения наблюдателя A , световыми сигналами за промежуток времени между двумя эпохами, определяются как произведение c на числовую разность между двумя эпохами. Следовательно, расстояния в пустоте были бы равны, если бы покрывались светом (или другими электромагнитными волнами) за одинаковое время.

Хотя для классической лабораторной физики обычных расстояний понятие твердого тела играет важную роль (по крайней мере его наличие молчаливо предполагается при измерениях с помощью градуированной линейки), однако к атомным и субатомным, а также астрономическим и космологическим масштабам это понятие не имеет непосредственного отношения. В этих масштабах мы вынуждены опираться на свойства электромагнитных волн, а не на свойства твердых тел. Тем не менее иногда утверждают, что для физики измерение дли-

ны с помощью линейки неизбежно является фундаментальным, поскольку это единственное измерение, в котором не содержится ссылок на другие виды физических величин. Несмотря на свое внешнее правдоподобие, этот аргумент является несостоятельным, ибо процесс измерения длины подразумевает наличие по крайней мере двух моментов времени: момента, в который наблюдатель отмечает, что одна отметка на шкале совпадает с одним концом измеряемого расстояния, и другого момента, в который он отмечает, что другая отметка совпадает со второй конечной точкой. Кроме того, не только проблема проверки стандартного метра или ярда составляет известные практические трудности, ибо это требует весьма тщательной регулировки такого фактора, как температура, но и лежащие в ее основе теоретические соображения отнюдь не являются простыми. Следует отказаться от наивной классической идеи об абсолютной твердости, поскольку в ней содержится утверждение, что возмущение может распространяться вдоль тела с бесконечной скоростью. Это несовместимо с нашим принципом существования конечного верхнего предела скорости распространения сигнала. Таким образом, кажущаяся первичность пространственного измерения становится тем менее очевидной, чем тщательнее исследуется¹.

С другой стороны, измерение локального времени, хотя оно на практике часто устанавливается пространственно с помощью вращения стрелки на циферблате, не обязательно зависит от измерения пространства. Как мы уже отмечали, первые часы определяли время исключительно с помощью маятникового механизма; современные и наиболее точные типы часов зависят от естественных колебаний атомных и молекулярных систем, а эпохи отмечаются счетчиками. Конечно, в то время как

¹ В самом деле, как отмечает Г. Бонди (H. Bondi, «Reports on Progress in Physics», 22, 1959, 105), размеры наших линеек определяются взаимодействиями атомов, полностью характеризующимися колебаниями атомов, в соответствии с фундаментальным правилом $E = h\nu$, где E обозначает энергию, ν — частоту, а h — постоянную Планка. Таким образом, истинно первичными стандартами являются только временные стандарты, а единицы длины определяются с помощью c . Например, длина волны света (и других видов электромагнитного излучения) данной частоты ν есть расстояние c/ν , проходимое за один период со скоростью c .

H. Poincaré, «Rend. del Mat. Circ. Palermo», 21, 1906, 129.

любое измерение расстояния необходимо включает какие-то ссылки на время и основывается на *двух* различных суждениях об одновременности, приписывание какой-либо эпохи событию в непосредственном опыте наблюдателя зависит только от *одного* суждения об одновременности, например о совпадении события с определенным ударом часов. У наблюдателя суждения об одновременности являются первичными данными физического измерения. На практике эта идея в сочетании с электромагнитной сигнализацией используется в интерферометрах и радарных установках, где расстояния определяются с помощью отраженных сигналов. В последние годы метод радара использовался для измерения астрономических расстояний¹.

Согласие с принципом, в соответствии с которым показания времени могут трактоваться как фундаментальные, а измерения пространства как вспомогательные, не подразумевает, однако, неизбежного согласия с эйнштейновским правилом установления эпох удаленных событий. Как мы уже видели, могут быть сформулированы другие правила, возможно более подходящие в соответствующих контекстах. Тем не менее правило Эйнштейна является наиболее простым из всех правил этого типа. Оно не зависит от пространственного расположения и ориентации, а также от какого-либо частного выбора начала временной шкалы и не содер-

¹ В 1958 и 1959 годах посредством радиолокационных измерений расстояния до Венеры был более точно определен средний экваториальный горизонтальный солнечный параллакс (угол, который опирается на радиус орбиты Земли вокруг Солнца). Учеными в США и в обсерватории Джодрелл Бэнк были получены соответственно значения 8", 8022 и 8", 8020 в отличие от общепринятого значения 8", 794 ($\pm 0", 002$), полученного на основании визуальных наблюдений. Величина, полученная в Джодрелл Бэнк, эквивалентна среднему расстоянию от Земли до Солнца, которое принимается равным 149,46 млн. километров.

Попутно можно напомнить, что метод, подобный радиолокации, применяется для определения расстояний летучими мышами. Гэйлэмбосом и Гриффином в США было установлено, что летучие мыши излучают короткие импульсы сверхзвуковых колебаний. Время, необходимое для того, чтобы такой импульс колебаний возвратился к мыши, позволяет ей оценить расстояние до отражающей поверхности. Звуковой или гидродинамической эхолокацией пользуются также птицы, рыбы и другие животные, а также человек для подводной локации и т. д. (D. R. Griffin, *Listening in the Dark*. New Haven, 1958),

никакой константы с размерностью времени. Однако перед тем, как перейти к рассмотрению применения этого правила к случаям, когда имеется более одного наблюдателя, и к проблеме согласования часов, находящихся в различных местах, мы должны упомянуть о решительном отрицании Роббом этой фундаментальной идеи о наличии у наблюдателя возможности устанавливать какие-либо эпохи для удаленных событий.

Хотя Робб соглашался с Эйнштейном, что «*настоящее мгновение, собственно говоря, не распространяется за пределы данной точки*», так, что «*единственно реально одновременными событиями являются те, которые случаются в одном и том же месте*»¹, он был более безжалостным при выбрасывании за борт классической концепции универсальной одновременности *in toto*, поскольку, на его взгляд, в разных местах «*не существует вообще никаких тождественных мгновений*». Робб основывал свою теорию времени и пространства на представлении о том, что одно мгновение существует *после* другого, и утверждал, что если абстрактная сила, принадлежащая кому-то или чему-то, находящемуся в определенное мгновение в точке *A*, производит действие в какое-то другое определенное мгновение в точке *B*, то это не только достаточное, но также и *необходимое* условие того, что мгновение в *B* будет позже мгновения в *A*. Точно так же для того, чтобы мгновение в *B* произошло до какого-то мгновения в *A*, существенно, чтобы некоторое влияние, возникшее в какое-то мгновение в точке *B*, могло произвести действие в какое-то мгновение в точке *A*. Таким образом, рассматривая ситуацию, иллюстрируемую рис. 5, Робб утверждает, что поскольку никакое физическое влияние или сущность, которая покидает *A* после *EI*, не может прибыть в *B* в мгновение свершения события *ES*, точно так же, поскольку никакое влияние или сущность, которая покидает *B* в мгновение *E_B*, не может прибыть в *A* до *E%*, то интервал времени в *A* между *EI* и *EZ* не может находиться в каких-либо временных отношениях с *E_B*. Таким образом, в эксперименте Физо любое мгновение в излучающем приборе после отправления световой вспышки и до мгновения ее возвращения, не имеет места ни до, ни после мгновения ее

¹ A. A. Robb, *The Absolute Relations of Time and Space*, Cambridge, 1921, p. 13.

отражения в зеркале. В частности, могло бы существовать не более одного момента в A , который хронологически можно было бы соотнести с E_0 , но «мы не имеем никакой возможности сказать, какой это момент».

Принимая во внимание это отсутствие какой-либо корреляции между E_0 и событиями в точке A , которые произошли между E_1 и E_2 , Робб вводит идею, что «элементы времени», то есть события, составляют систему, в которой, как он говорит, существует «конический порядок». Он был определен чисто формальным аксиоматическим образом как протяженность событий, которая действительно переживается наблюдателем и обладает простым линейным порядком. Она может быть проиллюстрирована обычными геометрическими конусами, как это показано на рис. 6.

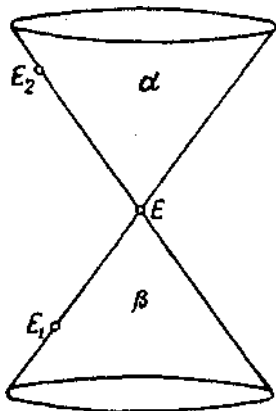


Рис. 6.

По отношению к любому данному событию E все другие могут быть описаны с помощью четырехмерной диаграммы как лежащие внутри, на или вне двух смежных конусов (α и β), вершины которых находятся в E . Образующие конуса представляют собой траектории световых лучей, проходящих через точку E . События в α происходят до E , события в β после E ; а события вне α и β не имеют никаких временных отношений с E . Ни одно из событий, которое в данной схеме изображается как не совпадающее с E , не может быть одновременным с ним¹.

¹ Робб ясно и кратко излагает этот принцип с помощью следующих цитат:

Однако для птицы времени путь краток,
И вот! Она уже летит.

Омар Хайям

Я не могу быть сразу в двух местах,
Если я не птица.

Сэр Бойль Роч

Вопреки общепринятым взглядам, выраженным в такой общей форме, даже «птица времени» не может находиться сразу в двух местах.

А. А. Робб

Робб тщательно подчеркивал, что его критика касается не математических выкладок Эйнштейна, а его философии. Он выражал недовольство тем, что на самом деле Эйнштейн употреблял термин «одновременность», то есть восприятие наблюдателем того, что одно событие в его опыте одновременно с другим, — это неизбежный факт в отличие от определения одновременности между удаленным событием и событием, происходящим в опыте наблюдателя A . Согласно Роббу, в одном случае это слово «употребляется правильно для описания чего-то абсолютного, тогда как в другом оно используется для описания только конвенции»¹, и, кроме того, эта конвенция зависит от предположения, что наблюдатель может рассматривать себя как покоящегося.

Однако если мы допускаем, что события, которые произошли в точке A после события E_1 и до E_2 , находятся в эмпирически неопределенном порядке относительно события E_0 в точке B , то должны ли мы согласиться с утверждением Робба, что Эйнштейн ошибался, когда допускал, что наблюдатель A теоретически устанавливает момент события E_0 ? Иными словами, если мы отвергаем классическую доктрину времени, которая обуславливает, что должно существовать одно-единственное событие в A , которое одновременно с E_0 , то следует ли из этого, что Эйнштейн не должен был приписывать определенную конвенциональную систему временных отношений (раньше чем, одновременно, позже чем) между E_0 и всеми другими событиями в L ? Функция условности при построении теории состоит в достижении простоты описания, и следует допустить, что специальная теория относительности Эйнштейна проще, чем альтернатива, выдвигаемая Роббом². Но это не все. Как мы уже видели, эйнштейновское конвенциональное правило, по которому наблюдатель A теоретически устанавливает момент свершения события E_0 , не является «только»

¹ A. A. Robb, *Geometry of Time and Space*, Cambridge, 1936, p. 12.

² Это не бросает никакой тени на строгость великолепного анализа, произведенного Роббом. В самом деле, его можно рассматривать как человека, который сделал для теории временных отношений то, что Евклид много лет назад проделал для теории пространственных отношений.

соглашением в смысле полной его произвольности. Ибо, хотя это — соглашение, поскольку оно выбирается свободно, а не навязывается нам, можно с помощью сформулированных-выше аксиом указать на универсальное отличие этого конвенционального правила от других допустимых правил. При всем уважении к Роббу следует отметить, что вопрос, по существу, состоит не в теоретической допустимости конвенции Эйнштейна, а в ее практической применимости, то есть в рассмотрении той области физических явлений, к которым она может быть успешно применена.

4. СООТНОШЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПЕРСПЕКТИВ

До сих пор мы рассматривали одного наблюдателя A . В отличие от Франка и Роте¹, Уайтхеда² и других, которые пытались вывести существование конечной универсальной скорости из более первичных постулатов, мы не видим необходимости в рассмотрении соотношения между пространственными и временными координатами, приписываемыми удаленным событиям различными наблюдателями. Хотя это не составляет большого труда для представителя ньютоновской классической физики, который верит в абсолютную всемирную одновременность и в абсолютное физическое пространство, подчиняющееся законам евклидовой геометрии, но если отказаться от этих предположений, то сразу же возникает проблема, которая нуждается в дополнительном исследовании. В настоящее время общепризнано, что наиболее удовлетворительный метод решения этой проблемы состоит в рассмотрении прежде всего соотношения между часами двух наблюдателей с помощью того самого эксперимента со световыми сигналами, о котором мы говорили выше (стр. 240—242).

Мы рассмотрели вопрос, каким образом наблюдатель A устанавливает время событий, происходящих в B . Как мы уже видели, решение, предложенное Эйнштейном, основывалось на его постулате, согласно которому ско-

рость света для наблюдателя A является универсальной константой, не зависящей ни от положения наблюдателя, ни от направления распространения света. Теперь мы должны рассмотреть, как соотносится это теоретическое время, устанавливаемое наблюдателем A для событий, происходящих в o , с эмпирическим моментом t' , который на самом деле показывают часы, расположенные в точке B . Для того чтобы поставить проблему

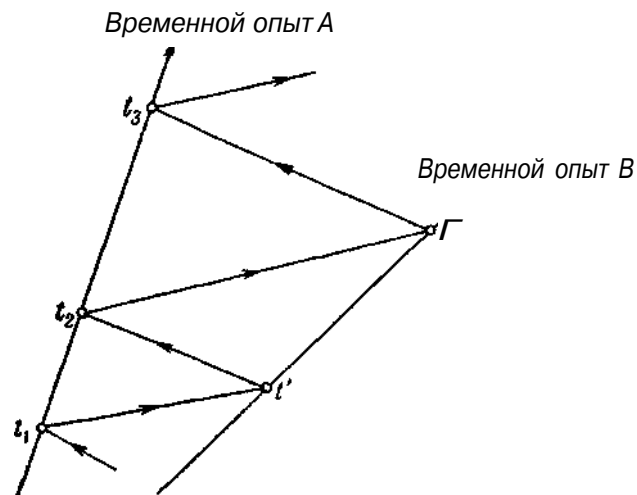


Рис. 7.

более точно, мы постулируем, что B теперь является наблюдателем, «подобным» наблюдателю A . На практике это означает, что B имеет часы, «подобные» часам, которые есть у A . Например, если у A имеется тот или иной тип атомных или молекулярных часов, то мы предполагаем, что и у B есть часы аналогичной конструкции¹. Эти часы позволяют B принять участие в эксперименте со световыми сигналами, который проводит A ; каждый из этих наблюдателей мгновенно отправляет обратно сигнал, полученный им от другого, как это показано на рис. 7.

¹ Если мы предполагаем, что все естественные часы, которые есть у данного наблюдателя, показывают одинаковое время, тогда нам нужно только поставить следующее условие: часы наблюдателя B градуированы точно так же, как и часы наблюдателя A .

¹ Ph. Frank and H. Rolhe, «Ann. der Phys.», 34, 1911, 825.
² A. N. Whitehead, An Enquiry concerning the Principles of Natural Knowledge, Cambridge, 1919, Chapter VIII.

В специальной теории относительности предполагается, что наблюдатели A и B связаны с инерциальными системами отсчета. Следовательно, они находятся относительно друг друга либо в покое, либо в состоянии равномерного и прямолинейного движения. Принцип относительности, на котором основывается теория, был сформулирован в сентябре 1904 года Пуанкаре¹ в лекции, которую он читал в Сент-Луисе (США).

Согласно формулировке, Пуанкаре, «законы физических явлений должны быть одинаковы как для «неподвижного» наблюдателя, так и для наблюдателя, который находится относительно него в равномерном и прямолинейном движении, поэтому мы не имеем и не можем иметь каких-либо средств для того, чтобы различить, находимся ли мы в состоянии такого движения или нет». Вскоре после этого и независимо² от Пуанкаре принцип относительности был сформулирован Эйнштейном в гораздо более точной форме: «Во всех системах отчета, для которых имеют силу уравнения механики, справедливы одни и те же законы электродинамики и оптики». Этот принцип предполагает, что наблю-

¹ H. Poincaré, «Bull. des Sci. Math.» (2), 28, 1904, 825.

² В последние годы состоялась важная дискуссия о роли Эйнштейна в создании теории относительности. В своей блестящей истории современной физики, опубликованной в 1953 году, сэр Эдмунд Уиттэкер (E. Whittaker, History of the Theories of Aether and Electricity, vol. II) посвятил этой теории главу с интригующим названием «Теория относительности Пуанкаре и Лоренца». После этого уже отмечалось, например В. Баргманом (V. Bargmann, «Review of Modern Physics», 29, 1957, 161), что сила позиции Эйнштейна по сравнению с Пуанкаре и Лоренцом состоит в том, что формулировки последних опирались только на полную теорию электродинамики и по сути дела ограничивались явлениями, связанными с ней, тогда как Эйнштейн развивал свою теорию, исходя из элементарных соображений о световых сигналах. Последующие разработки обнаружили всю важность этого различия, ибо теория Эйнштейна отнюдь не ограничена электродинамикой и «совершенно не зависит от наших взглядов на природу фундаментальных взаимодействий между элементарными частицами». Роль Пуанкаре была подвергнута критическому рассмотрению также и французским историком науки Р. Татоном (R. Taton, Reason and Chance in Scientific Discovery, translated by A. J. Romerans, London, 1957, p. 135). Согласно Татону, хотя Пуанкаре и знал, что нужно было делать, «он не отважился разъяснить свои мысли и вывел, таким образом, все следствия, опустив имеющий решающее значение момент, что и не позволило ему, по существу, открыть принцип относительности». В поддержку своей точки зрения Татон приводит следующее высказывание Л. де Бройля: «Почему Пуанкаре не удалось перешагнуть за рамки своего собственного мышления? Несомненно, что это произошло отчасти в силу того, что он был чистым математиком. Он занимал довольно скептическую позицию в отношении физических теорий, считая, что вообще существует бесчисленное множество различных, но логически эквивалентных точек зрения и образов, которые ученый выбирает лишь из соображений удобства. Этот номинализм, видимо, иногда мешал ему правильно понять тот факт, что среди логически возможных теорий имеются, однако, теории, которые наиболее близки к физической реальности, во всяком случае, лучше приспособлены к интуиции физика и более пригодны содействовать его усилиям» (см. Луи де Бройль, По тропам науки, Издательство иностранной литературы, 1962, стр. 306–307).

дателя, которые связаны с такими системами отсчета, используют одинаковые измерительные инструменты, например часы, и принимают одинаковые метрические правила и определения. Поэтому, если наблюдатель A приписывает скорости света универсальное значение c , то наблюдатель B обязан сделать то же самое.

Обычно, когда в специальной теории относительности Эйнштейна рассматривают соотношение часов наблюдателей A и B и их временные показания, то ограничиваются случаем равномерного относительного движения. Я же, напротив, начну рассмотрение со случая, когда они находятся в относительном покое, ибо это весьма важно для установления одного из главных выводов, к которому я приду в следующей главе. Если у A и B имеются часы, которые проградуированы одинаково, тогда с точностью до аддитивной постоянной, что зависит от выбора нулевого момента времени на каждом часах, принцип относительности, поскольку это касается кинематики, можно свести к следующему утверждению:

Аксиома X. Принцип кинематической симметрии: t_2 есть функция от t_1 , которая тождественна функции t_1 от t_2 .

Поэтому должно существовать функциональное отношение следующего вида:

Следовательно, функция β , которую мы будем называть *сигнальной функцией*, связывающей A к B , должна быть такой, что

$$t_2 = \beta(t_1). \quad (22)$$

звание Л. де Бройля: «Почему Пуанкаре не удалось перешагнуть за рамки своего собственного мышления? Несомненно, что это произошло отчасти в силу того, что он был чистым математиком. Он занимал довольно скептическую позицию в отношении физических теорий, считая, что вообще существует бесчисленное множество различных, но логически эквивалентных точек зрения и образов, которые ученый выбирает лишь из соображений удобства. Этот номинализм, видимо, иногда мешал ему правильно понять тот факт, что среди логически возможных теорий имеются, однако, теории, которые наиболее близки к физической реальности, во всяком случае, лучше приспособлены к интуиции физика и более пригодны содействовать его усилиям» (см. Луи де Бройль, По тропам науки, Издательство иностранной литературы, 1962, стр. 306–307).

Однако поскольку B находится на фиксированном расстоянии от L , а световой сигнал перемещается с постоянной скоростью, то отсюда следует, что разность $(t - t')$ должна быть постоянной. Поэтому δ должна быть такой, что

$$(23)$$

для всех значений δ и некоторой константы a . Если мы опустим индекс, то, очевидно, решением этого функционального уравнения будет $\delta(t) = t + a$.

С более общей точки зрения, производя операции с δ , в обеих частях уравнения мы получим, что

откуда непосредственно следует, что $\delta(t)$ должна иметь следующий вид:

где $\delta(t)$ имеет период $2a$. Для того чтобы свести это решение к частной форме $\delta(t) = t + a$, мы должны принять во внимание других наблюдателей, которые также находятся в состоянии покоя. Таким образом, если A , B и C находятся на одной линии, причем B лежит между A и C , а δ есть сигнальная функция, связывающая B и C , тогда соотношение между A и C будет определяться сигнальной функцией ϕ , которая задается формулой $\phi = \delta \circ \rho = \rho \circ \delta$. Следовательно, δ и ρ должны быть коммутативными функциями. Поскольку C находится на фиксированном расстоянии от B , ρ должно удовлетворять функциональному уравнению следующего вида:

$$(24)$$

где b есть некоторая постоянная. Тогда легко доказать, что

и что, следовательно, L и C находятся друг от друга на фиксированном расстоянии, которое равно сумме соответствующих расстояний $A - B$ и $B - C$. Производя операции в обеих частях равенства (24) с функцией ρ и опираясь на свойство коммутативности функций δ и ρ , мы делаем вывод, что

$$\delta(t + \delta - \rho \circ \delta(t)) - \rho \circ \delta(t) = \delta(t) + 2b,$$

откуда следует, что

где $\delta(t)$ имеет период $2b$. Поэтому $\delta(t)$ должно содержать в себе в качестве периодов как $2c$, так и $2b$. Если A , B и C есть любые три члена континуума относительно неподвижных наблюдателей, тогда $2a$ и $2b$ будут, вообще говоря, несоизмеримы. Следовательно, согласно известной теореме, единственная форма функции $\delta(t)$, которая обеспечивает ее непрерывность, есть постоянная a , так же образом, из уравнения (23) следует, что $\delta(t) = t + a$. При таком решении для $\delta(t)$ из уравнения (21) следует, что

Сравнивая этот результат с уравнением (19), мы получаем, что $t' \sim t$, то есть время, которое показывают часы, находящиеся в точке B , когда там происходит какое-нибудь событие, является точно таким же, как и время, которое наблюдатель A теоретически определяет для этого события, исходя из равномерности скорости света. Поэтому все наблюдатели, находящиеся друг относительно друга в состоянии покоя, приписывают одинаковое время любому данному событию, и это время согласуется с тем, которое действительно определяется часами, имеющимися у наблюдателя, который находится в той точке, где это событие происходит. В этом конвенциональном смысле для всех наблюдателей, находящихся в состоянии относительного покоя, существует мировая одновременность событий, а следовательно, и универсальное время.

Прделанный выше анализ основывался на представлении о «кинематической симметрии» наблюдателей, которые находятся друг относительно друга в состоянии покоя и пользуются одинаково проградированными часами." Кроме того, эти наблюдатели приписывают одно и то же постоянное значение скорости распространения в пустоте световых сигналов, с помощью которых между ними осуществляется связь. В своей специальной теории относительности Эйнштейн¹ показал, каким образом тот

¹ Однако в его общей теории относительности наблюдатели, которые связаны с общими системами отсчета, не приписывают одно и то же универсальное значение скорости света, и здесь уже неприменим простой анализ с помощью световых сигналов, характерный для специальной теории относительности,

же самый принцип кинематической симметрии в экспериментах со световыми сигналами может быть распространен на случай с наблюдателями, которые находятся в состоянии относительного равномерного и прямолинейного движения, хотя выводы, по сути дела, здесь уже совершенно не те, какие можно сделать для случая с наблюдателями, находящимися в состоянии относительного покоя. В частности, для совокупности наблюдателей, находящихся в состоянии равномерного и прямолинейного движения, больше уже не существует мировой одновременности, а следовательно, и общего универсального времени. Следовательно, хотя теория и основывается на предположении, что *общие законы*, которым подчиняются физические уравнения, имеют одинаковую форму как для наблюдателей, связанных с инерциальными системами, находящимися в состоянии относительного равномерного и прямолинейного движения, так и для наблюдателей, связанных с относительно покоящимися системами, эпохи, приписываемые частным событиям, существенно различаются между собою.

Для того чтобы проиллюстрировать это положение как можно более просто, мы вновь рассмотрим процесс связи наблюдателя A с наблюдателем B и B с A при помощи световых сигналов, как это показано на рис. 7. Однако на сей раз мы поставим следующее условие: два наблюдателя, рассматриваемые нами, движутся с равномерной скоростью в радиальном направлении, начиная с той частной эпохи, когда их времена совпадают. Кроме того, мы постулируем, что у обоих наблюдателей имеются одинаковые часы, причем они синхронизированы таким образом, что в исходное мгновение времени, когда показания часов совпадают, они показывают нуль времени. Как и прежде, мы рассмотрим сигнал, отправленный наблюдателем A в момент t_1 определяемый часами. Предположим также, что этот сигнал по прибытии в B в момент f по часам наблюдателя B мгновенно отражается и возвращается к A в момент t_2 , согласно часам наблюдателя A . Из принципа кинематической симметрии следует, что если $f = \langle J \rangle / (i)$, то $t_2 = \langle \phi \rangle (0)$. Поэтому

(25)

Однако

$$= ** + z/c, \quad t_1 = t -$$

где z есть расстояние от A до B , согласно точке зрения A в мгновение отражения сигнала, а t есть эпоха свершения этого события, которая теоретически определяется наблюдателем A . Поскольку B удаляется в радиальном направлении от точки его совпадения с A в нулевой момент времени, то отсюда следует, что

где V есть относительная скорость B . Поэтому

(26)

где

$$= \frac{1 + y/c}{1 - K/c}$$

Следовательно, сравнивая (25) и (26), мы видим, что функция ϕ должна быть такой, что для всех значений переменной t

$$\phi(\phi) = \langle y \rangle / . \quad (27)$$

Производя операции с ϕ на каждой из сторон уравнения, мы получаем, что

откуда

$$\Gamma \quad (28)$$

где штрихованные величины означают производные. Единственным решением уравнения (28), которое является непрерывным, когда $\phi \rightarrow 0$ (положительное) есть $\phi'(0) = k$, где k — константа. Поскольку $t' = 0$, когда $\phi = 0$, то отсюда следует, что $\phi(0) = 0$, и поэтому мы должны получить $\phi(\phi) = kt$. Сравнивая с (27), получаем $k^2 = a^2$. Для того чтобы получить единственное решение $k = a$, а следовательно, и

$$\phi(t) = at, \quad (29)$$

где a положительна, мы должны принять еще одну аксиому.

Из (28) следует, что $\phi'(0) = i / (\langle \phi \rangle \sim 2n \cdot 0)$ и $a \sim 2n / \rightarrow 0$, когда $\langle y \rangle \rightarrow \infty$, поскольку $a > 1$, ибо $0 < V < c$.

Аксиома XI. Порядок восприятия световых сигналов наблюдателем B, согласно его точке зрения, соответствует порядку отправления этих сигналов наблюдателем A, согласно точке зрения A.

Мы уже видели, что, согласно A, в любой точке в данную (теоретически определенную) эпоху существует единственное значение скорости света в пустоте. Отсюда следует, что порядок прибытия световых сигналов в B, согласно точке зрения A, должен быть тем же, что и порядок их отправления из A. Ибо если сигнал, отправленный наблюдателем A в какой-то момент времени, прибыл бы в точку B, с точки зрения A, до другого сигнала, отправленного из точки A раньше него, тогда из постулата непрерывности следует, что в пространстве, разделяющем A и B, произошло какое-то событие, в результате которого второй сигнал догнал и перегнал первый. Если бы такое событие произошло, то тогда, согласно точке зрения A, существовало бы два значения скорости света в пустоте. Поэтому аксиому XI можно рассматривать как утверждение, что временной порядок событий в точке B, который теоретическим путем определяется, с точки зрения A, согласуется с временным порядком этих событий, как он воспринимается B. В этом смысле мы можем говорить, что временной порядок этих событий имеет один и тот же смысл как для A, так и для B. Согласно принципу относительности, A и B равноправны в том отношении, как оно сформулировано в аксиоме XI.

Поскольку $t_2 = 0$, $t' = a/v$ и $t = \gamma(t_2 + vt')$, где t есть время, которое A приписывает прибытию (и отражению) сигнала в B, то отсюда следует, что

$$t = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{L}{a} + \frac{v}{c^2} \right) \quad (30)$$

Следовательно, мы делаем вывод, что, хотя A и B пришли к согласию относительно временного порядка событий в B, они будут приписывать различные меры временным интервалам между любыми двумя мгновениями в B.

Рассмотрим этот вопрос с более общей точки зрения. Возьмем световой сигнал, который отправлен наблюдателем L в момент t_0 согласно его часам. Этот сигнал

проходит мимо B в момент t_1 , согласно часам B, затем мгновенно отражается некоторым событием E, происходящим на одной линии с L и B, вновь проходит мимо B в момент t_2 , согласно его часам, и возвращается к A в момент t_3 . Тогда если (t, r) являются теоретически устанавливаемой эпохой времени события E и расстоянием до него с точки зрения L, а (f, r') эпохой времени и расстоянием до E, с точки зрения B, то отсюда следует, что

$$t' = \gamma(t - vr/c^2), \quad t = \gamma(t' + vr'/c^2) \quad (31)$$

Поскольку

$$U = at', \quad t = \gamma t' \quad (32)$$

то мы, подставляя (31) в (32) и решая его, находим, что

$$t' = \frac{r - vt}{c^2 - v^2} \quad (33)$$

Мы получили знаменитые формулы Лоренца¹ для события, происходящего на прямой, соединяющей наблюдателей L и 0.

Для случая, когда событие E происходит в любом месте, ставится условием, что наблюдатели A и B могут связаться с ним с помощью световых сигналов (то есть E должно лежать на траекториях световых лучей, посылаемых от L и 0, а также на траекториях лучей, которые воспринимаются этими наблюдателями). Можно доказать², что если x является координатой события E, измеряемой наблюдателем L в направлении к B, а x' — координатой E, измеряемой наблюдателем B в направлении, противоположном L, то есть (x, y, z) и (x', y', z') будут ортогональными реперами (декартовыми осями), которые совпадают в нулевой момент времени, то в таком случае формулы Лоренца, связывающие соответ-

¹ Этим термином мы обязаны А. Пуанкаре.

² E. A. Milne, Kinematic Relativity, Oxford, 1948, p. 40.

ствующие координаты и эпохи E , согласно A к B , могут быть записаны в следующем виде:

$$\frac{y'}{1 - \kappa^2/c^2} = \frac{y - v t}{1 - v^2/c^2}, \quad z' = z, \quad f' = \frac{t - Vx/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (34)$$

Эти преобразования могут быть выражены и в обратной форме:

$$x = \frac{x' + vt'}{1 + v^2/c^2} \quad (35)$$

так что, кроме знака V (который обязан несимметричному выбору направлений осей x и x'), мы находим, что преобразования Лоренца являются *взаимно-обратимыми*, в согласии с принципом относительности, который лежит в основе теории¹.

Здесь нас прежде всего интересует формула для f и t . Она заменяет классическую $f = t$, которая выражает универсальную природу ньютоновского времени и одновременности. Появление пространственных координат x и x' в соответствующих выражениях для t и f делает неизбежным следующее: удаленные события, которые (конвенционально) являются одновременными для одного наблюдателя, не являются (конвенционально), во-

¹ Из формулы (35) мы можем непосредственно вывести Эйнштейнову формулу сложения скоростей:

$$\frac{u' + v}{1 + u'v/c^2} \quad \text{и} \quad \frac{f' - u'y'/c^2}{1 - u'y'/c^2} \quad \text{и} \quad \frac{w}{1 + u'v/c^2}$$

для составляющих скорости частицы (u, v, w) относительно наблюдателя A , которая движется относительно B со скоростью, компонентами которой являются (u', v', w'). Замечательным свойством этих формул, в частности формулы для u , является то, что скорости не аддитивны. Напротив, в случае скоростей, направленных по одной прямой, например для u и V , мы находим, что $\tanh^{-1}u/c = \tanh^{-1}u'/c + \tanh^{-1}V/c$. Функция $\tanh^{-1}u/c$ была названа Роббом *быстротой* (rapidity), соответствующей скорости u . В случае неколлинеарных скоростей можно доказать, что закон произведения соответствующих быстрот задается законом треугольника гиперболической тригонометрии (Лобачевского). Подобным же образом мы наблюдаем, что, если $U = c$, тогда $u = c$ независимо от величины u' ,

обще говоря, таковыми для другого. Следовательно, хотя специальная теория относительности и совместима с представлением об универсальной одновременности событий, происходящих в одном и том же месте, она все же отрицает универсальную одновременность событий, происходящих в разных точках пространства¹.

Таким образом, повсеместная одновременность событий во вселенной становится неопределенным понятием, если не указана система отсчета (или наблюдатель). Подобно тому как перед наблюдателями, находящимися¹ в разных местах, открываются различные пространственные перспективы вселенной, так и наблюдатели, движущиеся с разными скоростями, имеют различные временные перспективы.

5. ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

После того как теория Эйнштейна получила широкую известность, многие философы обращали свое внимание только на то, что она отвергала классическое понятие мировой одновременности. Однако на самом

¹ В известном и довольно любопытном отрывке Уайтхед критикует эйнштейновскую «сигнальную теорию» определения одновременности. Эта критика основана на недоразумении. Уайтхед не учитывает, что между этими двумя видами одновременности имеется существенное различие. Утверждая, что в сигнальной теории увеличивается значение световых сигналов в нашей повседневной жизни, Уайтхед писал: «Истинный смысл данного понятия одновременности состоит в том, что оно зависит от этих сигналов. Есть слепые, бывают также темные ночи, но ни слепые, ни люди, попавшие в темноту, не лишены чувства одновременности. Они прекрасно знают, что значит одновременно ободрать обе голени» («An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge», Cambridge, 1919, p. 53). Этот отрывок говорит, по сути дела, о непонимании точки зрения Эйнштейна, согласно которой одновременность двух событий в одном и том же месте можно воспринять непосредственно, и она является универсальной, тогда как одновременность удаленных событий является «условной» и относительной. Как отмечал Эддингтон, определение Эйнштейна есть «просто формулировка правил, которыми мы предлагаем руководствоваться при рас пространении условных делений времени на весь мир» (А. Эддингтон, Математическая теория относительности, Гостехиздат, Харьков — Киев, 1933, стр. 39). Что касается удаленных событий, то уже открытие Рёмером конечного характера скорости света опровергнуло точку зрения здравого смысла, согласно которой вещи существуют одновременно с их восприятием,

деле действительно новым в этой теории является ее утверждение, что измерение временных интервалов меняется от одного наблюдателя к другому в зависимости от их относительного движения. Из формулы (30), которая устанавливает соответствие между эпохой, приписываемой наблюдателем A какому-либо событию в B , и эпохой, которую на самом деле устанавливает наблюдатель B , мы непосредственно выводим, что если BI' обозначает временной интервал, отсчитываемый часами B между любыми двумя событиями в B , то продолжительность, приписываемая этому интервалу наблюдателем A , должна быть δ' , где

$$U' \quad (36)$$

Следовательно, $BI = BI'$ только в том случае, если $V = 0$, а если V не равно 0, то мы получим $BI > BI'$. Это различие не будет значительным, когда V мало по сравнению с c (что является обычным для нашей повседневной жизни), поскольку оно зависит от *квадрата* отношения V/c . Для значений V , близких к c , мы находим, что δ' становится сколь угодно большим. В пределе, когда мы рассматриваем движение B со скоростью c , временной интервал BI становится бесконечным. Для скоростей, превышающих c , никак нельзя согласовать часы A и B . Мы называем BI' *собственным временем*¹ интервала, разделяющего два события в B , а тот факт, что любой наблюдатель, равномерно движущийся относительно B , приписывает мере этого интервала времени значение больше чем BI' , называется явлением *замедления времени*. Это явление не зависит от знака V , безразлично сближаются наблюдатели или, наоборот, удаляются друг от друга. Эффект зависит только от их относительной скорости. Вывод Эйнштейна о том, что временной интервал BI , приписываемый наблюдателем A , превышает временной интервал BI' , устанавливаемый часами в B , отчасти был предвосхищен Лоренцом, а также Лармом*.

¹ *Собственное время* иначе называется локальным временем, то есть временем, которое установлено или может быть установлено непосредственно часами,

В своей книге «Эфир и материя», изданной в 1900 году, Лармор утверждал, что часы, движущиеся *относительно эфира* со скоростью V , должны идти медленнее, чем покоящиеся, соотношение скоростей их хода будет $1 - V^*/c^2$: 1. Он пришел к этому выводу после изучения опыта Майклсона — Морли. *Первоначальной целью* этого опыта было определение с помощью оптических средств «абсолютного» движения Земли относительно светоносного эфира; с помощью интерферометра Майклсона проводилось сравнение света, прошедшего путь туда и обратно вдоль одинаковых отрезков, расположенных перпендикулярно друг к другу. Полученный отрицательный результат был интерпретирован Эйнштейном как подтверждение его гипотезы, что скорость света является одинаковой для всех систем отсчета, находящихся в состоянии равномерного и прямолинейного относительного движения. Однако еще до этого известный ирландский специалист по математической физике Фицджеральд высказал мысль, что результат этого эксперимента можно объяснить, выдвинув предположение, что длина, измеряемая в направлении движения тела относительно эфира, автоматически уменьшается в пропорции $U' - V^*/c:l$. Эта гипотеза, которая несколько позднее независимо от него была высказана Лоренцом, являлась просто предположением *ad hoc*, согласно которому движение тела вызывает реальное физическое сжатие этого тела. Однако это сжатие не может быть установлено наблюдателем, движущимся вместе с телом, поскольку все его измерительные инструменты подвергаются точно такому же воздействию. Эта точка зрения вынудила Лоренца рассматривать действие упругих сил на электронные и атомные компоненты материи с целью объяснить существование подобных явлений сжатия во всех формах материи. Точно таким же образом он пытался обосновать и объяснить аналогичный эффект изменения хода движущихся часов.

Одной из величайших заслуг Эйнштейна в решении этих вопросов было то, что он обошел проблему структуры материи и направил свое внимание на теорию измерения. Вместо предположения о существовании *реальных*, то есть структурных изменений в длинах и длительностях, которые вызываются движением, теория

Эйнштейна занимается только *кажущимися* изменениями; и эти изменения не зависят от микроскопической структуры и скрытых механизмов, определяющих структуру материи. Более того, в отличие от постулированных ранее реальных изменений эти кажущиеся изменения являются *взаимными*: как наблюдателю Л кажется, что измерительный стержень наблюдателя В испытывает сжатие в направлении движения, так же и наблюдателю В кажется, что стержень А испытывает точно такое же сжатие. Как наблюдателю А кажется, что часы В идут медленнее, так и наблюдатель А-в свою очередь полагает, что часы А отстают от его собственных. В силу этой взаимности или относительности наблюдателей А и В Эйнштейн отбросил идею о светоносном эфире как преимущественной системе отсчета.

В 1932 году Кеннеди и Торндайк¹ осуществили важный эксперимент, который позволил провести различие между старым взглядом, согласно которому сжатие Фицджеральда представляет собой реальный эффект, и точкой зрения Эйнштейна, согласно которой оно только кажущееся. Этот эксперимент представлял собой модификацию опыта Майклсона — Морли и отличался от последнего тем, что плечи интерферометра были неравны, хотя их размеры приближались друг к другу достаточно близко, чтобы обеспечить хорошее наблюдение интерференционных полос. Если допустить, что существует сжатие Фицджеральда, и предположить также, что существует светоносный эфир, тогда различие во времени прохождения света вдоль обеих плечей представляло бы собой Δt от суточных и годовых изменений скорости прибора. Отсутствие каких-либо наблюдаемых эффектов такого рода оказалось мощным эмпирическим аргументом в пользу утверждения Эйнштейна, что для различных наблюдателей, находящихся по отношению друг к другу в состоянии относительного движения, скорость света является одной и той же.

Тем не менее до 1938 года, когда Айве и Стилуэлл² подтвердили формулу (36) с точностью до второго порядка отношения V/c , не было никакого непосредствен-

¹ R. J. Kennedy and E. M. Thorndike, «Phys. Rev.», 42, 1932, 400.

² H. E. Ives and G. R. Stilwell, «J. Opt. Soc. Amer.», 28, 1938, 215; там же, 31, 1941, 369.

ного экспериментального доказательства замедления времени. Естественные часы, которыми пользовались в этом эксперименте, это быстро движущиеся положительно заряженные атомы водорода (каналовые лучи). Ход этих «атомных часов» измерялся по частоте света, излучаемого ими. Согласно теории Эйнштейна, кажущийся ход таких движущихся часов будет оказывать влияние на эффект Доплера. Это можно доказать следующим путем, который несколько проще первоначальных выкладок Эйнштейна.

Пусть в точке В находится источник, излучающий свет (или другие электромагнитные волны) собственной частоты ν' , в собственное время t' в направлении наблюдателя А, который воспринимает его, согласно своим часам, в мгновение времени t с кажущейся частотой ν . За короткий интервал собственного времени dt' число фотонов, излученных источником В, равно $\nu' dt'$. Если они прибывают в Л за интервал dt , согласно часам наблюдателя А, тогда

$$\nu dt = \nu' dt'$$

Если t обозначает время, которое наблюдатель А устанавливает для эпохи ? в точке В, а r есть расстояние от В до А, согласно наблюдателю А в эту эпоху, тогда $t = r + r/c$ и, следовательно,

$$\frac{dt}{dt'} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \left(1 - \frac{Vr}{c} \right)$$

где V , обозначает радиальную скорость В относительно А и является положительной, если В удаляется, и отрицательной, если В приближается. (Если В движется только в радиальном направлении, тогда V есть то же, что и относительная скорость V .)

При условии, что В движется относительно А равномерно и прямолинейно, отношение dt/dt' задается формулой (36) и поэтому

$$1 + \quad (37)$$

¹ Это означает эпоху, которая в принципе определяется по **часам**, движущимся вместе с источником. *Собственная частота* означает частоту относительно этих часов,

Поскольку длина волны обратно пропорциональна частоте (для света, движущегося с постоянной скоростью), то отсюда следует, что

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad (38)$$

Это есть формула Эйнштейна для эффекта Доплера в случае света, поступающего от равномерно и прямолинейно движущегося источника. Если пренебречь явлением замедления времени, как это делается в физике Ньютона, где $t = t'$, тогда из уравнения (38) получается классическая формула для этого эффекта.

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} \approx \frac{v}{c} \quad (39)$$

Когда $W = 0$, то классического эффекта Доплера нет, однако существует релятивистский эффект второго порядка

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2} \quad (40)$$

если пренебречь членами, порядок которых выше, чем вторая степень V/c . Это явление известно под именем поперечного эффекта Доплера. Он обязан своим существованием только замедлению времени. Более того, следует отметить, что если относительное движение источника является чисто радиальным, так что $Vr = \pm V$, то замедление дает положительную поправку второго порядка $-(8X/X)^2$ к классическому эффекту Доплера изменения отношения $\lambda/\lambda_0 = \pm V/c$.

Вскоре после публикации в 1906 году статьи Штарка о канальных лучах Эйнштейн высказал в 1907 году мысль, что их можно использовать для наблюдения предсказанного им поперечного эффекта Доплера¹. Экспериментальная установка Штарка была слишком примитивной для выполнения этой цели, так как не обеспечивала получение в спектроскопе достаточно резких линий, и поэтому прошло тридцать лет, пока этот эксперимент не был удовлетворительным образом выполнен Айвсом и Стилуэллом, которые продолжили работу, начатую

A. Einstein, «Ann. der Phys.», 23, 1907, 197.

Демпстером. Их аппаратура обеспечивала получение быстрых канальных лучей с одинаковой скоростью. Приращение зеркала давало изображения спектра, в котором содержались линии, соответствующие покоящимся атомам и атомам, движущимся по направлениям к наблюдателю и от него. При отсутствии замедления времени средняя линия, порожденная атомами, движущимися по направлению к наблюдателю и от него с одинаковой скоростью, как это и вытекает из (39), совпала бы с центральной линией, обусловленной стационарными атомами. Однако, согласно формуле Эйнштейна, средняя линия слегка сместилась бы в красную сторону спектра примерно на величину $V\alpha(8AA)^2$. Эксперимент показал именно этот результат и, таким образом, подтвердил в пределах ожидаемой степени точности количественную формулу Эйнштейна для эффекта замедления времени.

Более современные, весьма убедительные, хотя и несколько менее точные данные, полученные при исследовании явлений космического излучения, обеспечили дальнейшие доказательства, которые потрясли воображение физиков. Элементарные частицы, известные под именем (л-мезонов, открытые в ливнях космических лучей, распадаются самопроизвольно, их собственное время жизни (то есть время от их порождения до распада, согласно точке зрения наблюдателя, который движется вместе с ними) равно примерно 2 мксек, а более точно $(2,09 \pm 0,03) \cdot 10^{-6}$ сек. Эти частицы порождаются главным образом на высоте порядка 10 км от поверхности Зем-

¹ Д-р Л. Уиттен заявил на конференции по вопросу о роли гравитации в физике, состоявшейся в марте 1967 года в Северокаролинском университете, что планирует повторить эксперимент Айвса — Стилуэлла, причем точность эксперимента, по его предположениям, повысится в тысячу раз. Он сообщил, что «другая его цель состоит в том, чтобы произвести измерение замедления времени для ионов, движущихся с ускорением в магнитном поле. Целью этого опыта является проверка, имеются ли какие-либо сдвиги спектральных линий кинематического происхождения, которые обязаны своим существованием только ускорению часов относительно наблюдателя» («WADC Technical Report 57—216», «Astia Document», No. AD, 118, 180, 1957, p. 12). Здесь следовало бы напомнить, что, если V равномерно ускоряется относительно A в релятивистском смысле, а именно его скорость постоянно возрастает со временем $V/v_i = \gamma^2/c^2$, тогда вместо члена для сдвига, полученного Айвсом — Стилуэллом $V\alpha(8AA)^2$, мы должны ожидать $\lambda(8AD)^2$.

ли. Следовательно, те из них, которые наблюдаются в фотопластинках, находящихся в лабораториях, должны пройти именно такое расстояние. Однако за 2 мксек частица, движущаяся со скоростью света, проходит менее 1 км, а согласно теории относительности, все материальные частицы движутся со скоростью, *меньшей*, чем скорость света. Коэффициент замедления времени $(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ равен отношению E/m_0c^2 , где E — энергия частицы (с точки зрения наблюдателя, находящегося в лаборатории), а m_0 есть масса покоя (то есть масса, согласно наблюдателю, движущемуся вместе с частицей)¹. Для μ -мезонов в ливнях космических лучей это отношение примерно равно 10, и, следовательно, их скорость v почти равна скорости света, будучи равной примерно 0,995 c . Коэффициент замедления времени, таким образом, имеет приблизительно такое значение, которое необходимо для того, чтобы объяснить, почему лабораторному наблюдателю кажется, что эти частицы движутся примерно в 10 раз дольше, чем они могли бы двигаться при отсутствии этого эффекта².

6. ПАРАДОКС ЧАСОВ

«Если бы поместить живой организм в коробку... то можно было бы достичь того, что этот организм после сколь угодно длинных полетов, сколь угодно мало изменившийся, снова возвратился бы на свое первоначальное место, в то время как совершенно такие же организмы, оставшиеся в покое на первоначальных местах, давно дали место новым поколениям. Для двигавшегося организма продолжительное время путешествия было одним

¹ Равенство коэффициента замедления времени и отношения E/m_0c^2 можно использовать для оценки среднего времени жизни нестабильных элементарных частиц. Некоторые из них обладают чрезвычайно малым временем жизни по сравнению с μ -мезоном. (Наиболее короткое известное время жизни порядка 10^{-23} сек.) Ибо, если такая частица за собственное время жизни τ_0 проходит расстояние l относительно наблюдателя, при скорости v , близкой к c , тогда l должно быть приблизительно равно $c\tau_0$, где $l/\tau_0 = v = E/m_0c$. Следовательно, $\tau_0 = m_0ct/E$ и таким образом можно вычислить τ_0 , если определены E , m_0 и l .

² B. Rossi and D. B. Hall, «Phys. Rev.», 59, 1941, 223.

моментом в том случае, если движение происходило со скоростью, близкой к скорости света»¹.

Это поразительное предсказание было сделано Эйнштейном в 1911 году на основе специальной теории относительности. Уже в 1905 году в своей первой работе, посвященной этой теории, он высказал следующее утверждение, которое можно рассматривать как предвестник вышеупомянутого предсказания: если часы B , устройство и ход которых тождественны другим часам A , а также показания которых в начальный момент совпадают с показаниями часов A , двигать с постоянной скоростью v по замкнутой кривой так, чтобы они вернулись в то место, где находятся часы A , то по часам A путешествие часов B будет продолжаться t секунд, а по часам B лишь $t\sqrt{1 - v^2/c^2}$ секунд, то есть часы запаздывают по отношению к часам A на $t\{1 - \sqrt{1 - v^2/c^2}\}$ секунд. Эйнштейну показалось, что это запаздывание непосредственно следует из явления замедления времени, имеющего место для стандартных часов при *равномерном относительном движении*. Он доказывал, что это запаздывание будет происходить и в том случае, если движение часов B не будет более ограничено прямой линией, а им будет дозволено двигаться по произвольной ломаной линии и, следовательно, в предельном случае по любой замкнутой линии, начальная и конечная точки которой совпадают.

За последние пятьдесят лет появилась огромная литература, посвященная этому известному «парадоксу часов», которая по своему объему может соперничать с литературой, посвященной парадоксам Зенона. Несколькими годами назад интерес к этому вопросу возродился; в «Nature» и других научных журналах развернулась оживленная дискуссия между Г. Динглом, У. Г. Маккри и другими исследователями. Более того, на VII Международном конгрессе по астронавтике, состоявшемся в 1956 году в Риме, глава немецкой делегации в докладе «О возможности достижения неподвижных звезд» самоуверенно говорил о космических кораблях

¹ A. Einstein, «Vierteljahrschrift der Naturforsch. Gesellsch. in Zürich», 56, 1911, S. 12., Zürich, 1912. Цит. по кн.: А. Копф, Основы теории относительности Эйнштейна, Гостехиздат, 1933, стр. 42.

с ядерными двигателями, которые могут достичь скорости света, и утверждал, что, согласно теории Эйнштейна, члены экипажа подобного корабля по возвращении на Землю из путешествия, длившегося для них несколько дней, должны найти своих детей уже постаревшими! Таким образом, подобно тому, как в стране Красной Королевы Алиса обнаружила, что, для того чтобы остаться на одном и том же месте, нужно бежать с максимальной возможной скоростью, в физической вселенной, видимо, мы можем «все время» действительно оставаться в одной и той же эпохе, если будем путешествовать с достаточной большой скоростью.

Не все отдают себе отчет в том, что эйнштейновский парадокс часов имеет два различных аспекта: (1) кажется, что он противоречит здравому смыслу, а именно что два индивидуума могут разойтись и опять встретиться, причем после встречи окажется, что между двумя событиями один из них жил дольше другого; (2) кажется, что он таит в себе логическую антиномию. Но не первый аспект, как бы забавен он ни был¹, является главным предметом спора. Действительно, поскольку мы принимаем идею о замедлении времени как подтвержденную фактами, возражение на аргумент Эйнштейна, подкрепленное только несоответствием этого аргумента здравому смыслу, теряет свою силу. Более того, как мы видели, рассматривая в главе II биологическое время, естественные часы сходного устройства при любых обстоятельствах не «тикают» с одинаковой скоростью. В случае холоднокровных животных на физиологическое время действует внешняя температура: например, ящерице физические события, которые мы рассматриваем как протекающие равномерно, видимо, представляются неравномерными, так что при восходе Солнца скорость его движения уменьшается, а при заходе Солнца скорость его движения, видимо, должна увеличиваться.

¹ Нормальная, здраво осмысленная реакция заключается в том, что утверждение Эйнштейна принимается за такую же сказку, как и история о монахе, который далеко зашел в лес, услышал захватывающее пение птицы, выслушал очарованный одну-две трели, затем вернулся в монастырь, где его никто не узнал; оказывается, он отсутствовал пятьдесят лет и из всех его товарищей в живых остался лишь один, который его и признал (R. L. Stevenson, *Across the Plains*, Leipzig, 1892, p. 202, 203. (Очерк «The Lintern-Bearers»)).

Даже если взять человека, у которого температура тела является постоянной, имеются основания полагать, что его жизнь можно продлить с помощью искусственного охлаждения, так что совершенно независимо от релятивистского расширения времени может случиться, что космический путешественник, который покинул Землю, направился к одной из ближайших звезд и провел большую часть своего пути в состоянии пониженной биологической активности, может по прибытии обратно на Землю обнаружить, что, несмотря на то, что он вовсе не постарел, на Земле прошли сотни лет! Учитывая этот иной (гипотетический) метод¹ достижения того же результата, мы не можем в конечном итоге устранить аргумент Эйнштейна только потому, что он противоречит нашим интуитивным предубеждениям, касающимся времени, поскольку они основаны лишь на неявном предположении² о том, что время «абсолютно», что оно существует само по себе.

Иногда указывают, что, строго говоря, аргумент Эйнштейна должен быть применим к чисто физическим, или неорганическим, часам и что мы не должны полагать, будто он автоматически применим к метаболическим и другим биологическим часам. Однако, если относительное движение как бы заставляет физические часы замедлять свой ход, мы должны ожидать, что биологические часы обнаружат тот же самый эффект. Поскольку в противном случае биологические процессы в *покоящемся* организме, рассматриваемые относительно движущихся физических часов, должны протекать быстрее, чем чисто физические процессы, а из этого следует глубокое различие между физикой органических процессов и физикой неорганических существ, в них участвующих, а доказательства подобного различия отсутствуют.

Второе возражение на аргумент Эйнштейна гораздо более серьезно, так как оно-то, видимо, и приводит

¹ Свежий компетентный обзор, посвященный влиянию охлаждения и прочих методов искусственного продолжения жизни, см. в левенгуковской лекции Д. Кейлина: D. Keilin, *The problem of anabiosis or latent life*, «Proc. Roy. Soc.» (London). B, 150, 1958, 149—191.

² Ср. замечание Барроу, приведенное на стр. 17, о том, что он не верит в то, чтобы «кто-нибудь не допускал, что те вещи существовали одинаковое время, которые возникли и погибли вместе».

к настоящему парадоксу. Согласно принципу относительности, на котором Эйнштейн построил свою теорию, разрешается рассматривать *любые* из двух первоначально находящихся в одном месте и синхронно идущих часов, двигающихся в пространстве с одной и той же постоянной относительной скоростью V ; в этом случае каждые часы можно рассматривать как отстающие от других часов, относительно которых рассматривается движение. Но это является логическим противоречием и, следовательно, невозможно. Сторонники Эйнштейна заявляют, что *при указанных обстоятельствах* двое часов нельзя менять местами и, следовательно, аргумент, приводящий к логическому парадоксу, несостоятелен. Они утверждают, что формула расширения времени (36) применима только в том случае, когда A и B связаны соответственно с двумя определенными системами отсчета, движущимися равномерно относительно друг друга. Следовательно, если A и B встречаются один раз, они не смогут встретиться второй раз, хотя в рассматриваемом нами случае они обязательно должны встретиться дважды. Поэтому, если один наблюдатель все время связан с одной инерциальной системой отсчета, другой с ней связан быть не может и в течение некоторого интервала, когда он движется от одной инерциальной системы отсчета к другой, он должен претерпевать ускорение. К сожалению, этот аргумент наносит смертельный удар не только тем, кто отвергает вывод Эйнштейна о том, что при встрече часы B будут отставать относительно часов A , но и последовательности рассуждений, которые привели Эйнштейна к этому выводу, так как его ссылка на формулу (36) более не является законной, поскольку эта формула была выведена при предположении, что *каждые* часы все время связаны с одной и той же инерциальной системой отсчета. Поэтому решающий аргумент тех, кто поддерживает Эйнштейна, автоматически подрывает позицию самого Эйнштейна, а также позицию его оппонентов. Следовательно, не удивительно, что на поле битвы опустился туман неразберихи. Как заметил редактор журнала «Discovery» в своих вводных замечаниях к переписке между профессором Маккри и сэром Роналдом Фишером, опубликованной в журнале в феврале 1957 года, результатом предшествующей переписки на эту тему

явилось «усугубление неопределенности в этом вопросе, а не устранение ее».

Многие физики, специалисты в области теории относительности, давно поняли, что частная теория относительности недостаточна для исчерпывающего рассмотрения парадокса часов, если учитывать ускорения. Поэтому время от времени на помощь призывается общая теория относительности Эйнштейна. К сожалению, это приводит к затуманиванию корней противоречия в еще большей степени. Пока общая теория относительности играет очень второстепенную роль в современной физике по сравнению со специальной теорией относительности и не может рассматриваться как столь же хорошо разработанная, несмотря на то, что ни одна конкурирующая теория тяготения не привлекла, хотя бы примерно, столько приверженцев, сколько привлекла к себе общая теория относительности. Более того, если даже мы согласимся принять эту теорию без оговорок, мы найдем, что те, кто взывал к ней с целью прояснения настоящей проблемы, выдвигали далеко не ясные и спорные аргументы. Например, хорошо известное решение Р. Толмэна¹ удачно раскритиковал Билдер.² «Действительно, — пишет он, — «парадокс» был разрешен путем отрицания применимости ограниченной теории к проблеме и последующего использования вместо нее выводов, полученных опять же из той теории с помощью принципа эквивалентности. Эта витиеватая процедура скорее успешно завуалировала парадокс, а не разрешила его»².

Призывая к общей теории относительности, например, в книге К-Мёллера³ обычно предполагают, опираясь на авторитет Эйнштейна, что *ускорение* часов относительно инерциальной системы не влияет на их скорость. Другими словами, расширение времени, связанное с движением часов относительно наблюдателя со скоростью V дается той же самой формулой (36), независимо от того, движутся ли часы равномерно и прямолинейно или ускоренно, хотя в последнем случае $B1$ и $B1'$

¹ R. C. Tolman, Relativity, Thermodynamics and Cosmology, Oxford, 1934, p. 194.

² i. Builder, «Australian Journal of Physics» 10, 1957, 261.

³ C Meiler, The Theory of Relativity, Oxford, 1952, p. 49, 258.

должны быть теперь ограничены бесконечно малыми значениями, поскольку V зависит от времени. Пока, однако, об этой гипотезе можно сказать лишь следующее: (1) в результате детального анализа, проведенного на основе общей теории относительности¹, Мёллер пришел к выводу, что ускорение не влияет на скорость некоторых идеализированных часов²; (2) -некто-

¹ И наоборот, мы можем рассмотреть аналогично случаю, в котором нами исследовались двое эквивалентных часов, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, иной случай, в котором часы равномерно ускоряются друг относительно друга, причем ускорение равно $dW/dt = f$, где $W = V(1 - V^2/c^2)^{-1/2}$; предполагается, что в начальный момент часы покоились друг относительно друга. Если для обоих часов скорость света постоянна и равна c , то можно показать (E. A. Milne and G. J. Whitrow, «Zeit. f. Astrophys.», 15, 1938, 344), используя обозначения рис. 7 и заменяя \int на $2c/k$, что

$$1/\gamma = \int f + l/k, \quad = \int f - l/k,$$

откуда, записав $t_1 = t - z/c$, $t_2 = t + z/c$ и $V = dr/dt$, получим

$$\frac{dt_1}{dt_2} \sim \frac{1 - V/c}{1 + V/c}$$

и, следовательно,

$$- \frac{V^2/c^2}{1 - V^2/c^2} : \quad i - H^2 / *^2$$

Пусть в точке, где находятся часы B , происходит событие в момент t по часам L и в момент t' по собственному времени часов B . Тогда

и, следовательно,

$$dt$$

Таким образом,

$$dt$$

За исключением начального момента, когда $V = 0$, мы видим, что замедление времени, связанное с наличием относительной скорости V , больше, чем в соответствующем случае равномерного и прямолинейного движения. Итак, мы находим, что равномерное ускорение часов B не влияет на видимую скорость часов B , относительно системы отсчета, связанной с часами A .

² C. Møller, «Kgl. Danske Vid. Sei. Mat.-Fys. Medd.», 30, № 10, 1955, 1—28.

рые недавние эксперименты истолкованы как факт независимости в рассматриваемых условиях зависимости скорости часов от ускорения¹.

Ввиду наличия дополнительных осложнений и неясностей, связанных с рассмотрением возможных эффектов², возникающих при ускоренном движении, несколько лет назад я высказал Милну свое мнение о том, что формулировка этого, с позволения сказать, парадокса без какого-либо упоминания об ускорении позволит по-новому взглянуть на него³. Поэтому давайте теперь¹ предположим, что B движется относительно A с постоянной скоростью V в конечной вселенной с постоянной положительной кривизной (трехмерный неевклидов аналог двумерной поверхности евклидовой сферы). Как и раньше, мы оговариваем в качестве особого условия, что наблюдатели A и B в нулевую эпоху (по обоим часам) находятся в одном месте. По истечении некоторого промежутка времени $t = ct/V$ (по часам A), где \int — время (по часам A), необходимое лучу света для прохождения всей вселенной, оба наблюдателя встретятся опять. Это событие по часам B произойдет в момент t' , равный $\int / \sqrt{1 - V^2/c^2}$.

Давайте с целью проверки получим этот результат иным путем. Эпоха $\hat{}$ (по часам L), в которую световой сигнал должен покинуть A для того, чтобы вернуться в L в эпоху t (после прохождения всей вселенной), дается следующим выражением:

Эпоха t' (по часам B), в которую этот сигнал прибывает в B , согласно формуле (29), будет равна

где

Следовательно,

$$= \int_a (\int - \int) = at(1 - V/c) \quad (41)$$

¹ C. W. Sherwin, «Phys. Rev.», 120, 1960, 17.

² Во всяком случае, они фактически являются второстепенными. » E. A. Milne and G. J. Whitrow, «Phil. Mag.», 40, 1949, 1244.

Следует заметить, что *все* эпохи времени, упомянутые в этом доказательстве t , t' и t , являются фактическими показаниями часов и что ни один из них не является моментом времени, приписанным удаленному событию, согласно некоторому теоретическому правилу. Следовательно, при обсуждении настоящей проблемы не может возникнуть вопроса о произвольности или еще о каких-нибудь особенностях такого правила. Для получения (41) нужны лишь предположения о том,

(1) что A и B имеют тождественные часы, которые идут в одном и том же направлении;

(2) что передача световых сигналов между A и B подчиняется принципу относительности в том смысле, что если бы двое часов были синхронизованы при первом совмещении A и B , то локальное время принятия сигнала одним наблюдателем в каждом случае одинаково зависит от локального времени испускания сигнала другим наблюдателем;

(3) что A и B приписывают одно и то же постоянное значение скорости равномерного и прямолинейного пространства света;

(4) что B , с точки зрения A , движется радиально с постоянной скоростью V ;

(5) что A (но не B) рассматривает себя как покоящегося относительно локального фона в конечной вселенной, которую свет может пройти всю за постоянный отрезок времени, отсчитываемый по часам A .

Ясно, что, хотя часы A и B синхронизованы при первом совмещении, часы B будут отставать от часов A при повторной встрече. Более того, сколь странным ни может показаться этот результат с точки зрения нашего повседневного опыта, в нем не содержится ни логической антиномии, ни парадокса. Отставание во времени часов B по сравнению с A абсолютно, а не относительно; и оно не находится в противоречии с принципом относительности (который определяет преобразования координат от одного наблюдателя к другому), поэтому между A и B нет абсолютного различия в их соответственных отношениях ко вселенной как целому.

Ввиду важности рассматриваемой точки зрения и возможности ее неправильного понимания может быть полезным изложение ее на языке сокращения Фитцджеральда, Если оба наблюдателя A и B располагают

равноценными измерительными линейками с одинаковой собственной длиной¹ (по направлению их относительного движения), то для наблюдателя A линейка B будет короче линейки A ; аналогично наблюдатель B будет рассматривать линейку A как сократившуюся. Тогда в принципе наблюдатель A может рассматривать весь контур вселенной от L до L как линейку K . Аналогично наблюдатель B может рассматривать контур вселенной от B до B как другую линейку R' . Но эти линейки не являются равноценными, так как B будет приписывать R' меньшую длину по сравнению с длиной, которую L приписывает R . Действительно, наблюдатель L припишет² длину cl , а наблюдатель B припишет R' длину $d \sqrt{1 - V^2/c^2}$. Время, необходимое для перемещения наблюдателя B вдоль всей длины линейки A будет равно ct/V (по часам L); а время, необходимое наблюдателю A для перемещения относительно наблюдателя B на всю длину линейки B , будет равно $cf \sqrt{1 - V^2/c^2}$ (по часам B). Следовательно, несоответствие показаний часов A и B при вторичной встрече наблюдателей A и B находится в полном соответствии со специальным принципом относительности, и совпадение их показаний было бы крахом этого принципа.

Этот конкретный мысленный эксперимент показал нам, что часы, которые всегда движутся равномерно и прямолинейно относительно материального фона замкнутой статической модели вселенной, регистрируют меньший интервал времени между последующими моментами встречи одинаково изготовленных стационарных часов по сравнению с другими часами. В этом воображаемом эксперименте каждые часы все время связаны с одной и той же инерциальной системой отсчета, поэтому вопрос о возможных эффектах ускорения не встает. Существенное различие между двумя часами состоит в различии их отношений ко вселенной как целому.

В обычной формулировке парадокса часов Эйнштейна обычно не делается ссылки на отношение ко

¹ Длина линейки A для наблюдателя A равна $l/2$ с, умноженной на время (по часам A), необходимое для прохождения света от A опять до A , при условии, что свет претерпевает мгновенное отражение на дальнем конце стержня. Аналогично с соответствующими изменениями это верно для длины линейки B для наблюдателя B .

У. Пространство - время и космическое время

вселенной, а лишь одни из часов все время связаны с одной и той же инерциальной системой отсчета. Вследствие этой асимметрии не удивительно, что часы показывают различное время при встрече второй раз. Однако класс инерциальных систем отсчета, по-видимому, опре*деляется общим распределением материи во вселенной. Следовательно, и в этом случае мы можем рассматривать и те и другие часы как имеющие различные отношения к миру как целому; скорее это, а не какое-либо частное следствие наличия ускорения как такового заставляет нас принять вывод Эйнштейна о том, что быстро движущийся организм мог бы вернуться в точку отправления более молодым, чем он был бы, если бы оставался в этой точке все время.

Для более глубокого проникновения в отношения между временем и вселенной мы должны теперь ввести понятие *пространства-времени* • и *космического времени*.

¹ Дальнейшее рассмотрение парадокса часов на языке этого понятия см. на стр. 297—299,

1. ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ И ГЕОМЕТРИЯ

Джон Локк в своем «Опыте о человеческом разуме», который Дж. М. Кейнс¹ назвал «первой английской книгой нового времени», после отдельного рассмотрения пространства и времени посвятил главу их совместному рассмотрению². В конце этой главы он пишет: «Итак, распространенность и продолжительность взаимно обнимают и охватывают друг друга. Каждая часть пространства находится в каждой части продолжительности, и каждая часть продолжительности — в каждой части распространенности». И он затем делает пророческое замечание: «Мне кажется, такое сочетание двух различных идей едва ли можно найти во всем том великом разнообразии, которое мы постигаем или можем постигнуть; это может служить предметом дальнейшего размышления»³.

Столетием позднее в «Критике чистого разума» И. Кант утверждал, что, для того чтобы представить идеи времени и изменения, мы вынуждены призвать идею пространства. Обсуждая возникновение нашего интуитивного представления об изменении, которое он охарактеризовал как «соединение противоречаше-противоположных определений в существовании одной и той же вещи», он заявил, что мы не можем постичь это интуитивное представление, не прибегая к примеру,

¹ J. M. Keynes, Essays in Biography, London, 1951, p. V.

² Джон Локк, Опыт о человеческом разуме, Книга вторая, глава пятнадцатая, Избр. филос. произв., т. I, М., 1960, стр. 211—219.

³ Джон Локк, Избр. филос. произв., т. I, стр. 219.

привлеченному из области «внешнего», то есть пространственного, восприятия. «...И даже для того чтобы внутренние изменения сделать мыслимыми для себя, мы должны представлять себе время как форму внутреннего чувства, образно, посредством линии и внутренние изменения посредством проведения этой линии (посредством движения), так что последовательное существование нашего *я* в различных состояниях мы делаем для себя понятным посредством внешнего наглядного представления...»¹

Тем не менее, даже если Дж. А. Ганн² и преувеличивал, когда заявлял, что Кант «игнорировал», мысль Локка, остается несомненным факт, что Кант заботился лишь об априорном обосновании геометрических представлений времени у Галилея. До начала нашего столетия никто не выдвигал более существенно новых идей об объединении пространства и времени.

21 сентября 1908 года математик Герман Минковский прочел свою знаменитую лекцию «Пространство и время» перед членами Общества естествоиспытателей в Кёльне. В нем в полупопулярной форме он разъяснил свои представления о формальном объединении пространства и времени, представления, которые он изложил в математической форме за год до того в своей статье «Основные уравнения для электромагнитных процессов в движущихся телах»³.

Вместо того чтобы утверждать вслед за Локком, что *каждая* часть пространства имеется в *каждой* части времени и каждая часть времени — в *каждой* части пространства, Минковский (следуя Эйнштейну) указал, что «никто еще не наблюдал какого-либо места иначе, чем в некоторый момент времени и какое-нибудь время иначе, чем в некотором месте»⁴. Точку пространства в момент времени он назвал *мировой точкой*⁵, а всю совокупность всех мыслимых мировых точек он назвал

миром. Частица вещества или электричества, существующая некоторое время, будет соответствовать в этом представлении кривой, которую он назвал *мировой линией*¹, точки которой можно пометить последовательными значениями параметра *t*, связанного с часами, несомымы частицей. «Весь мир представляется разложенным, — пишет Минковский, — на такие мировые линии», и он считает, что «физические законы могли бы найти свое наисовершеннейшее выражение как взаимоотношения между этими мировыми линиями»².

Целью Минковского было введение новой замены для ньютоновских абсолютного пространства и абсолютного времени, отброшенных Эйнштейном. На их место он предлагал свой абсолютный «мир», который дает различные «проекции» в пространстве и во времени для различных наблюдателей (связанных с инерциальными системами отсчета). Этот абсолютный «мир» был позднее назван *пространством-временем*. Математически его абсолютный характер может быть установлен как прямое следствие постулата Эйнштейна об инвариантности света (по отношению к любым системам отсчета). Пусть луч света соединяет две «соседние» мировые точки (x, y, z, t) и $(x + dx, y + dy, z + dz, t + dt)$, координаты которых определены относительно конкретного наблюдателя *A*. Поскольку пространственное расстояние между (x, y, z) и $(x + dx, y + dy, z + dz)$ задано в евклидовой геометрии выражением $\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$ и поскольку свет, движущийся со скоростью *c*, описывает это расстояние в единицах времени как *dt* (по часам *A*), то

$$c^2 dt^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 \quad (1)$$

¹ Это понятие родственно понятию Бертрانا Рассела о *причинной линии* (Б. Рассел, Человеческое познание, Издательство иностранной литературы, 1957, стр. 486). Он утверждает, что если мы откажемся от классического философского понятия *субстанции* (еще использованного, однако, Эмилем Мейерсоном в «Тождестве и реальности»), то тождество следует определить как причинную линию, являющуюся временным рядом событий, который указывает на постоянное присутствие «чего-либо» — постоянства структуры или качества, или постепенного изменения и того и другого, короче говоря, всего, что можно изобразить в виде мировой линии, длинной или короткой, прямой или кривой.

² Там же, стр. 183.

¹ И. Кант, Критика чистого разума, изд. 2, перевод Н. Лосского, Петроград, 1915, стр. 171.

² J. A. Gunn, The Problem of Time, London, 1929, p. 68 (сноска).

³ H. Minkowski, «Göttingen Nachrichten», 1908, S. 53.

⁴ «Принцип относительности», сб. под ред. В. К. Фредерикса и Д. Д. Иваненко, Гостехиздат Л. — М., 1935, стр. 182.

⁵ Мы также будем использовать термин *точка-мгновение*.

Аналогично, если символами со штрихами обозначить координаты тех же мировых точек, приписанные им другим наблюдателем B , также связанным с инерциальной системой отсчета, то

$$dt^i - (dx^i + dy^i + dz^i)/c^* = 0. \quad (2)$$

В более общем случае мы можем рассмотреть две *любые* соседние мировые точки, не обязательно соединенные световым лучом. Поскольку равенство нулю левой части (1) всегда влечет за собою равенство нулю левой части (2) и наоборот, то

$$= \langle t(x, y, z, t) \{ dt^* - (dx^* + dy^* + dz^*)/c^* \}, \quad (3)$$

где Φ — некоторая функция переменных x, y, z, t , не содержащая дифференциалов dx, dy, dz, dt . Согласно принципу относительности, мы можем в (3) поменять местами обозначения со штрихами и без штрихов, а отсюда заключаем, что

$$\langle \Phi(x, y, z, t) \Phi(x', y', z', t') \rangle = 1.$$

Простейшим возможным видом¹ функции Φ , очевидно, является $\Phi = 1$. На основе преобразований Лоренца мы сразу находим, что условие (3) выполняется для этого вида функции Φ . Следовательно, мы заключаем, что для всех инерциальных систем отсчета

$$ds^2 = dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2)/c^2 \quad (4)$$

является инвариантом. Мы называем ds *пространственно-временным интервалом* между соседними мировыми точками.

В задачах, рассматривающих только одно измерение пространства, пространство-время Минковского можно просто изобразить на бумаге в виде *диаграммы Минковского*, пример которой приведен на рис. 8. Эта диаграмма относится к конкретному инерциальному наблюдателю A , пространственно-временное геометрическое место точек, или мировая линия, которого задано осью t . Мировые линии E_0L и E_0M являются пространственно-

¹ При введении неинерциальных систем координат возможны другие виды функции Φ ,

временными траекториями световых лучей, выходящих из места нахождения наблюдателя A при любом заданном событии E_0 , составляющем опыт наблюдателя A , по направлениям положительной и отрицательной осей x соответственно. Аналогично $L'E_0$ и $M'E_0$ являются пространственно-временными траекториями световых лучей,

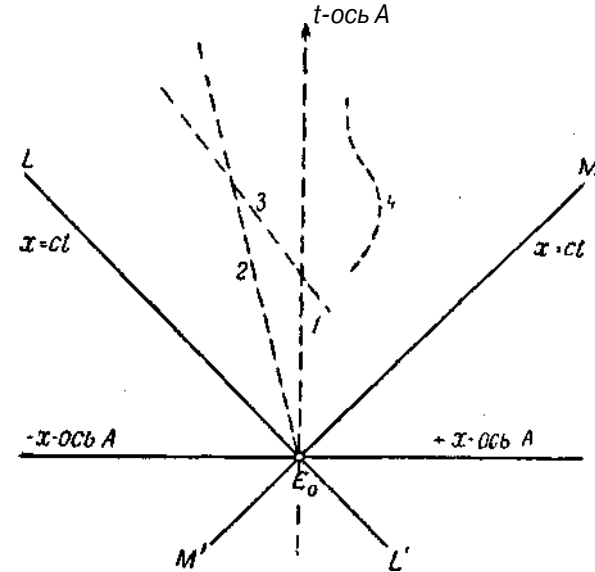


Рис. 8.

приходящих к наблюдателю A , находящемуся в E_0 . В более общем случае мы должны представить себе четырехмерный график, ось y и ось z которого аналогичны оси x и образуют с ней ортогональный репер. Совокупность теоретически возможных световых лучей, выходящих от наблюдателя A , который находится в точке E_0 , порождает *передний световой конус* для этого события, а совокупность теоретически возможных световых лучей, приходящих к наблюдателю A , который находится в точке E_0 , порождает *задний световой конус* точки E_0 . Все траектории частиц вещества или других объектов, двигающихся относительно A со скоростями, меньшими c , будут представлены мировыми линиями, везде имею-

щими наклон к оси t меньше наклона образующих светового конуса, причем наклон к оси t будет зависеть от относительных скоростей. Диаграмма позволяет просто и красиво различать инерциальное и ускоренное движение, так как первое будет соответствовать прямым мировым линиям, например линиям 1, 2 и 3, а последнее — кривой мировой линии, например линии 4.

Геометрия диаграммы Минковского отличается от диаграммы обычного евклидова пространства, в основе которого лежит положительно определенная метрика $da^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ потому, что пространственно-временная метрика ds^2 , заданная уравнением (4), содержит отрицательный знак. Однако пространство-время Минковского сходно с евклидовым пространством в том, что оно открыто во всех направлениях. Следовательно, любая пара прямых мировых линий (инерциальных линий) может пересечься не более одного раза. Тем не менее это свойство диаграммы Минковского не решает вопроса об общей структуре вселенной, которая может быть, в принципе, замкнута по ее пространственным направлениям.

Мы уже заметили, что ds^2 является инвариантом для всех наблюдателей, связанных с инерциальными системами отсчета, хотя ни компонента временного интервала dt , ни компонента пространственного интервала da не обладают этим свойством. Минковский придавал этому результату огромное значение. Он записал в виде $c^2 dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2)$, так что его размерность была размерностью квадрата длины в четырехмерном мире с псевдо-евклидовой геометрией. Он с энтузиазмом воскликнул: «Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции, и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность»². Это знаменитое, но являющееся крайностью утверждение стремится, однако, значительно умалить важность времени по сравнению с пространством. Действительно, пространство-время рассматривалось как новый вид гиперпространства, в котором события не «происходят», а «через которые мы проходим». Как выразился Герман Вейль: «...сценой действия

реальности является не трехмерное евклидово пространство, а *четырёхмерный мир, в котором неразрывно связаны вместе пространство и время*. Однако глубока пропасть, отделяющая интуитивную сущность пространства от интуитивной сущности времени в нашем опыте, и ничто из этого качественного различия не входит в объективный мир, который удалось выкристаллизовать физике из непосредственного опыта. Это четырехмерный континуум, который не является ни «временем», ни «пространством». Только сознание, которое схватывает часть этого мира, испытывает обособленный кусок, который ему приходится встретить и оставить позади себя как *историю*, то есть как процесс, который протекает во времени и имеет место в пространстве»¹.

Другими словами, *прохождение* времени, которое является самой сутью понятия, должно рассматриваться лишь как черта сознания, не имеющая объективного оригинала. Это находится в резком контрасте с основной гипотезой настоящей книги, состоящей в том, что временные отношения являются фундаментальными. Точка зрения Вейля, а также Эйнштейна в сущности является точкой зрения «клочковатости мира», если использовать термин, выдвинутый Уильямом Джемсом для обозначения гипотезы² о том, что мир подобен киноленте: на ней уже есть фотографии, они просто поочередно предстают перед нашими глазами. Хотя, как говорит Вейль, четырехмерный континуум — ни «время», ни «пространство», тем не менее он является более пространственным, чем временным.

Первым философом, который старался построить метафизическую систему на гипотезе о пространстве и времени, был Сэмюэл Александер, чьи гиффордовские лекции, прочтенные в 1916—1918 годах, были опубликованы в 1920 году под названием «Пространство, время и божество». Он был сторонником того, что пространство и время как таковые являются абстракциями, образованными из пространства-времени и «если бы было принято, что они существуют сами по себе без молчаливого предположения о существовании другого, то они являлись незаконными абстракциями, против которых

¹ Из-за наличия отрицательного знака.

² «Принцип относительности», стр. 181.

¹ H. Weyl, Raum, Zeit, Materie, 3 Aufl., Berlin, 1923, S. 218.

² Дальнейшее обсуждение этой гипотезы см. на стр. 375.

выступал Беркли... Реально существует Пространство-Время, континуум точек-моментов или чистых событий»¹. Александр рассматривал пространство-время как *plenum* Декарта, представляющий синтез всех проекций пространства-времени, причем проекция понимается как отношение пространства-времени к любой из составляющих его точек-моментов. Он утверждал, что это понимание вселенной, к которому он пришел метафизическим путем, гармонирует с математическо-физической гипотезой Минковского. Согласно Александеру, «все вещи, независимо от их качеств, являются кусочками пространства-времени»². В частности, эмпирические вещи являются «водворотами или вихрями в веществе Пространства-Времени, а универсалии — законами их построения»³.

Конкретная концепция пространства-времени, созданная Александером, была подвергнута глубокой критике Броудом, который указал, что специальная теория относительности разрушила не *различие* пространства и времени, а лишь их *разделение*. Более того, избавившись от абсолютной теории пространства и времени, мы не должны вводить их опять для пространства-времени. Пространство-время не следует рассматривать как своего рода порождающую матрицу, так как оно создает события не в большей степени, чем структура или организация армии создает войны. Более того, если бы кто-нибудь был вынужден предположить, что такие организации «являются субстанциями, существующими бок о бок с солдатами, это была бы чепуха; это была бы примерно такая же чепуха, как та, что болтают люди, которые представляют пространство-время как существующую субстанцию, которая тянет и толкает взад и вперед кусочки материи»⁴. Когда мы рассматриваем свойства физического пространства-времени, мы просто анализируем общую структуру пространственно-временной совокупности, которой является вселенная.

Верно, что Александр метафизик, а не ученый, но его позиция по отношению к пространству-времени была

¹ S. Alexander, *Space, Time and Deity*, London, 1920, p. 48.

² S. Alexander, *op. cit.*, p. 223.

³ S. Alexander, *pp. cit.*, p. 226.

⁴ C. D. Broad, *Scientific Thought*. Patterson, New York, 1959, p. 458.

во многом похожа на позицию многих ученых после опубликования в 1915 году Эйнштейном общей теории относительности. В этой теории он обобщил концепцию Минковского, что позволило распространить ее на явления тяготения. Мы видели, что в пространстве-времени Минковского математическое различие между прямыми и кривыми мировыми линиями точно соответствует физическому различию между инерциальными и ускоренно движущимися системами отсчета. Движение частиц и тел, связанное с ускоренно движущимися системами отсчета, зависит от действия *сил*, тогда как движение инерциальных частиц и тел является «свободным» движением, происходящим только при отсутствии сил. Поэтому мы можем установить соответствие между действием силы на частицу с кривизной ее мировой линии. Тогда равномерное и прямолинейное движение частицы при отсутствии сил может рассматриваться как чисто кинематическое явление, потому что оно не зависит от инертной массы. Эйнштейн указал, что Галилеев закон падения тел означает, что в однородном поле тяжести ускоренное движение частиц также можно рассматривать кинематически, поскольку все тела падают согласно одному и тому же закону. Поэтому

(1) согласно терминологии Ньютона, было найдено на опыте, что тяжелая масса тождественно равна (с точностью не хуже одной стомиллионной доли) инертной массе;

(2) локально, то есть в области, малой по сравнению с размерами Земли, поле тяжести можно рассматривать как однородное.

Следовательно, заявил Эйнштейн, в пределах области, достаточно малой для того, чтобы поле тяжести внутри нее было действительно однородным, ускорение и тяготение являются взаимозаменяемыми понятиями (*принцип эквивалентности* Эйнштейна). Следовательно, тяготение стало синонимом «кривизны» пространства-времени, проявляясь в искривлении светового луча и в отклонениях движения материальных частиц от равномерности и прямолинейности, то есть в отклонениях мировых линий от прямолинейности. Только локальная справедливость принципа означала, что Эйнштейн был вынужден сосредоточиться на микроструктуре, или дифференциальной геометрии, пространства-времени, тогда

как Минковский рассматривал его структуру «в большом». Но его анализ оказался более мощным, чем анализ Минковского, так как он автоматически учел тяготение через уравнения поля, связав дифференциальную геометрию пространства-времени с тензором энергии-импульса вещества и излучения. Эта тесная связь вещества (и энергии) с геометрией пространства-времени привела многих приверженцев теории Эйнштейна к принятию следующей точки зрения, сформулированной А. С. Эддингтоном: «Когда мы воспринимаем, что некоторая область содержит вещество, мы познаем присутствующую миру в этой области кривизну... Не следует рассматривать вещество как нечто постороннее гравитационному полю, вызывающее в нем возмущение; это возмущение и есть вещество». Так же как свет не является причиной колебаний, поскольку как раз колебания и составляют свет, и аналогично, так же как теплота есть движение молекул, а не нечто, вызывающее это движение, вещество должно само рассматриваться как «симптом, а не как причина». Более того, хотя и было признано, что своей специальной теорией относительности Эйнштейн предал универсальный эфир изгнанию, после разработки общей теории относительности Эддингтон высказал мысль о том, что *мир*, определенный как агрегат всех точек-моментов, «можно было бы, пожалуй, вполне законно назвать *эфиром*; по крайней мере он представляет собою тот универсальный субстрат вещей, который теория относительности дает нам вместо эфира»².

Эддингтон обратил внимание на то, что теория материи Эйнштейна была «предвосхищена чудесным предвидением» английского математика У. К. Клиффорда, который в статье, написанной в 1875 году, высказал мысль о том, что «теория кривизны пространства намекает на возможность описания материи и движения на языке лишь протяженности»³.

Однако Эйнштейн имел и еще более замечательного предшественника, Рене Декарта, так как они оба ста-

вили цель *геометризации* физики. Основные методологические принципы общей теории относительности можно действительно весьма удачно назвать неокартезианскими, потому что она скорее делает акцент на протяженных, а не временных аспектах явлений.

2. ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ И ВРЕМЯ

Мы уже видели, что в своей формулировке специальной теории относительности Минковский записал c^2 так, что его размерность была равна квадрату длины. Если, наоборот, мы запишем его $dt^2 = (dx^2 + dy^2 + dz^2)/c^2$, то ds будет иметь размерность времени. Когда ds^2 положителен, так что

мы можем записать левую часть этого неравенства как V^2 , где V обозначает равномерную и прямолинейную относительную скорость, с точки зрения первоначального наблюдателя (которого мы связываем с инерциальной системой отсчета), который в момент времени t находится в точке (x, y, z) , а в момент времени $t + dt$ находится в точке $(x + dx, y + dy, z + dz)$. Следовательно,

$$ds = dtV(1 - V^2/c^2). \quad (5)$$

Поскольку ds — инвариант, он должен представлять собою интервал времени, который должен быть зарегистрирован инерциальными часами, движущимися сточки зрения первого наблюдателя из (x, y, z) , где они были в момент времени t в $(x + dx, y + dy, z + dz)$, где они оказались в момент времени $t + dt$. Таким образом, когда его квадрат положителен, то физический смысл ds будет состоять в том, что оно представляет собственное время, релятивистский заменитель абсолютного времени ньютоновской физики.

Это столкновение диаграммы пространства-времени Минковского дает ясное наглядное представление о ситуации, приводящей к парадоксу часов Эйнштейна, рассмотренному в предыдущей главе. На рис. 9 линия 1

¹ А. Эддингтон, *Пространство, время, тяготение*, Одесса, 1923, стр. 189.

² Там же, стр. 186.

³ W. K. Clifford, *Lectures and Essays*, London, 1879, p. 245.

обозначает мировую линию (с точки зрения A) часов, движущихся вместе с L из события E_0 (когда B расстается с L) в событие E_1 (когда B возвращается к L). Линии 2 и 3 обозначают две возможные мировые линии (с точки зрения L) часов, движущихся вместе с B . Вдоль линии 2 относительная скорость B всегда является равномерной и прямолинейной, но она меняется скачком в событии E_1 , а вдоль линии 3 она изменяется

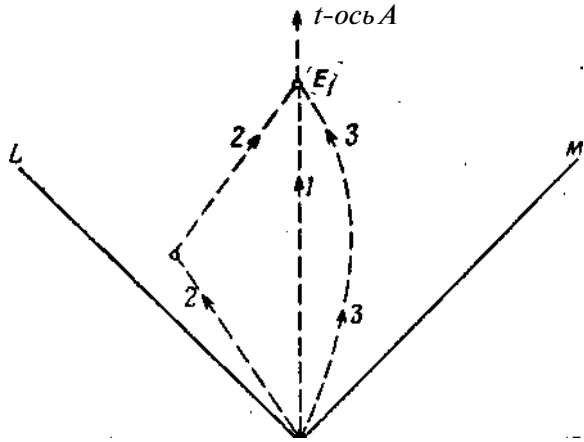


Рис. 9.

непрерывно. В силу соотношения (5) мировая линия 1 является линией максимальной «длины», соединяющей E_0 и E_1 , то есть собственное время между E_0 и E_1 , является наибольшим вдоль этой линии. Если линию 2 разделить на большое число малых отрезков, каждый из которых имеет одну и ту же проекцию BL на оси t наблюдателя L , то ясно, что «длина» каждого из этих сегментов вдоль линии 2 должна быть меньше BL и, следовательно, их сумма должна быть меньше собственного времени от E_0 до E_1 для наблюдателя L . Как заметил Минковский, элемент собственного времени ds не является полным дифференциалом, а зависит от мировой линии, вдоль которой он отсчитывается. В случае непрерывной кривой линии, например линии 3, сравнение

с линией 1 часто основывается на «недоказуемом допущении» Эйнштейна о том, что скорость движущихся часов в любой момент времени зависит только от относительной скорости в этот момент времени и не зависит от их ускорения. Тем не менее это допущение (которое, как мы видели выше, ни в коей мере *не является очевидно истинным) является побочной проблемой при рассмотрении парадокса часов. Главный результат уже получается, если B следует по линии 2, и вообще собственное время, истекшее между E_0 и E_1 , должно зависеть от конкретной мировой линии, по которой происходит движение. В данном случае противоречие с принципом относительности отсутствует, поскольку, вообще говоря, между двумя событиями можно провести лишь одну линию (инерциальную линию). Временное запаздывание часов наблюдателя B по сравнению с часами наблюдателя A при встрече их в E_1 обусловлено тем, что эти двое часов двигались по мировым линиям различных типов,

- В общей теории относительности основной инвариант ds взят как метрический элемент или элемент «расстояния» пространства-времени и задан квадратичной дифференциальной формой $g_{ij}dx^i dx^j$, которая локально сводится при соответствующем выборе пространственных и временных координат к инварианту специальной теории относительности в форме Минковского. Поскольку, согласно принципу эквивалентности Эйнштейна, мы можем устранить локальное действие тяготения путем соответствующего выбора ускоренно движущейся системы отсчета, и Эйнштейн постулировал, что если можно пренебречь тяготением, то общая теория относительности сводится к специальной теории относительности. Следовательно, в случае положительного ds^2 в общей теории относительности ds обозначает собственное время, связанное с парой точек-моментов (x^i) и $(x^{i*} + dx^i)$ в обобщенных координатах, то есть временной интервал, регистрируемый инерциальными часами при движении от одной точки-момента к другой.

Например, рассмотрим метрику Шварцшильда, описывающую пространство-время при наличии тяготеющей

¹ Согласно введенному Эйнштейном условию, проводится суммирование по индексам $i, j = 1, 2, 3, 4$.

частицы в начале пространственной системы координат, а именно

$$c^2/\dots - c^s \cdot 1 \quad (6)$$

где G — постоянная тяготения, c — скорость света (на больших расстояниях от начала координат), m — масса частицы, а (r, θ, Φ) — полярные координаты. Пусть A и B обозначают две точки, фиксированные в пространстве (не в пространстве-времени). Рассмотрим световой сигнал, который выходит из A во время t_A и приводит в B во время t_B . Поскольку поле статично, световой сигнал, который выходит из L в момент времени $t_A + \Delta t$, придет в B в момент времени $t_B + \Delta t$. Интервал собственного времени между отправлением этих сигналов из A равен $bs_A = 8\pi f |L - 2O|/ga/e^2\gamma$, а интервал собственного времени между приемом этих сигналов в B равен $bs_B = 8\pi f |L - 2O|/ga/e^2\gamma$, где GA , e_a обозначают расстояния от A и B до начала координат. Пусть из A сигнал излучается с частотой ν_A , а в B принимается с частотой ν_B . Тогда $\nu_A/\nu_B = v_B/v_A$, поскольку число сигналов, вышедших из A , равно числу сигналов, принятых в B . Следовательно, если B находится значительно дальше от начала координат, чем A , стандартная спектральная линия (то есть определенная линия, связанная с конкретным переходом между энергетическими уровнями, в L) по сравнению с соответствующей линией в B будет казаться более красной, причем относительное изменение частоты приблизительно равно

$$\frac{Gm}{c^2 r} \quad (7)$$

Этот вывод известной формулы Эйнштейна для гравитационного красного смещения (в поле тяготеющей «частицы») принадлежит Маккри¹. Между прочим, из (6) можно получить коэффициент замедления времени для скорости V в поля тяготения массы m равным $(1 - 2Gm/cV)^{-1/2}$

¹ W. H. McCrea, «Proc. Roy. Irish. Acad.», A, 57, 1956, 173.

Хотя специальная теория относительности Эйнштейна возникла как новая теория времени, она оказала глубокое воздействие на теорию пространственных измерений, в частности на классическое понятие неизменной линейки. Это понятие теряет свою простоту, и мы поэтому считаем, что по настоящей и по другим причинам измерение пространства должно быть основано на измерениях времени. С другой стороны, общая теория относительности в том виде, в каком ее разработал Эйнштейн, была главным образом квазипространственной теорией (основанной на Римановой геометрии), в которой время играло вспомогательную роль. Мы уже защищали отличную точку зрения, по крайней мере в случае положительных ds^2 , но наиболее убедительный аргумент в пользу трактовки времени как фундаментальной категории в обеих теориях относительности связан с некоторыми неизбежными ограничениями точности измерения пространственно-временных интервалов. Эти ограничения не зависят от знака ds^2 .

В 1938 году в своих тарнеровских лекциях Эддингтон указывал, что «...теория относительности должна выйти за свои пределы для того, чтобы обрести определенную длину, без которой она не может начаться. Определенную шкалу вещей вводит микроскопическое строение материи»¹.

Тем не менее, как он сам предупреждает своих читателей, даже микроскопическая теория не является самоисчерпывающей, так как ее понятия должны быть связаны с измерениями, которые экспериментатор может фактически произвести и которые в конечном счете зависят от «наших собственных грубых органов чувств». Двадцать лет спустя эти вопросы были подробно рассмотрены Сэйлчером и Вигнером².

Они начали с того, что подчеркнули не просто возможность, а *существенность* использования часов для измерения и пространственных, и-временных интервалов и указали на ненадобность использования измерительных линеек, так как в отличие от часов линейки являются необходимо макрофизическими объектами, которые

¹ A. S. Eddington, The Philosophy of Physical Science,

² S. S. H. Salech'per, E. P. Wigner, «Phys. Rev.», 109, 1958, 571.

в процессе измерения сильно влияют своими полями тяготения на другие объекты. Если же существуют микрочасы и можно пренебречь отдачей световых сигналов, пространственно-временной интервал между двумя точками-моментами Л и S может быть измерен с произвольной точностью с помощью эксперимента, в котором используются сигналы типа рассмотренного

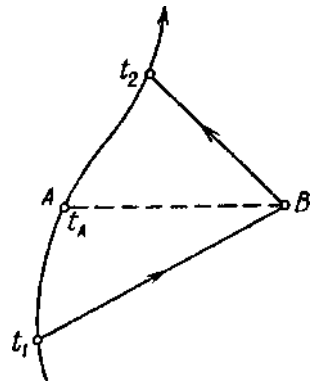


Рис. 10.

выше и проиллюстрированного на рис. 10. Так как, если событие A взято во время t_A на мировой линии наблюдателя O , а t_1 , t_2 — времена запаздывания и опережения соответственно события B , точки зрения наблюдателя O , и расстояния малы по сравнению с радиусом кривизны пространства, то пространственно-временной интервал между L и B дается выражением $\sqrt{T^2 - \Delta^2}$, где $\Delta = t_2 - t_1$ и $T = t_2 - t_A$. Точно так же, различие между моментами времени, приписываемыми B наблюдателем O , и моментом t_A равно $-(T_2 + T_1)$ и пространственное расстояние от B до L равно $-\Delta - \Delta$.

Рассматриваемые точки-моменты отождествляются со столкновениями между телами и фотонами. В конечном счете, разумеется, как и полагает Эддингтон, все измерения должны быть зарегистрированы на некотором макроскопическом объекте. Если, однако, этот объект был сам по себе частью часов, то такой вещи, как микрочасы, не могло быть даже в принципе. Поэтому Сэйлчер и Вигнер оговорили в качестве особого условия, что макроскопический регистратор должен был быть очень удален по сравнению со смещениями микрочасов в течение процесса измерения. Но в данном случае возникает любопытная трудность. Квант света достигнет регистрирующего прибора «навверняка», если только он не распространяется во всех направлениях. Следовательно, в своей статье Сэйлчер и Вигнер ограничились

рассмотрением лишь одного пространственного измерения в добавление ко времени-подобному измерению. Главным недостатком этого предположения является следующее: в таком мире, непохожем на мир с большим числом измерений, влияние тела не обязательно убывает с расстоянием. Поэтому, согласно допущению Сэйлчера и Вигнера, в этом случае не очевидно, что возмущающее влияние макроскопического регистрирующего прибора может быть устранено лишь его размещением на достаточно далеком расстоянии. Но они полагали, что эта трудность не может быть слишком серьезной, поскольку микрочасы, которые могут быть использованы на практике, «не являются полностью микроскопическими» и необходимость фокусировки их сигналов не должна «слишком изменить результаты исследования».

Основная цель этого исследования может рассматриваться как аналог измерения времени классической проблемы предела пространственного увеличения оптических микроскопов. Сэйлчер и Вигнер нашли, что, хотя точность показания часов возрастает при увеличении массы, их поле тяготения действительно не должно вносить больших возмущений; но это поле также увеличивается при увеличении массы. Поэтому проблема сводится к созданию как можно более точных и как можно более легких часов.

Поскольку ход часов не должен слишком сбиваться при снятии показаний с них, их масса M должна превышать некоторое минимальное значение, зависящее от точности τ , с которой должно измеряться время, и от времени хода часов T , то есть полного времени, необходимого для их действия. При излучении сигнала к скорости часов добавляется величина h/Mc^2 , где h — постоянная Планка¹.

Если мы специально оговорим, что момент времени, в который фотон ударяет в часы, заранее известен с точностью не менее t , то есть что положение часов не вводит статистического элемента в измерение времени, то соответствующее смещение положения часов за время T должно быть менее Δ . Следовательно, изменение ско-

¹ Неопределенность в положении, равная по порядку величины Δx , порождает соответствующую минимальную неопределенность порядка $\Delta x/c\tau$ в импульсе (принцип неопределенности Гейзенберга).

рости составит примерно h/MK . Неопределенность в положении часов после интервала времени Γ равна

Минимальное значение этого выражения имеет место при

χ

а оно меньше ст, если

Минимальная неопределенность массы часов равна $L/c\chi$, поскольку, согласно принципу Гейзенберга, минимальная неопределенность энергии равна h/t . Следовательно, минимальная масса часов превышает эту минимальную неопределенность массы в число раз, равное отношению времени хода часов и их точности. Более того, если мы возьмем m равной массе протона (порядка 10^{-24} граммов) в качестве минимальной неопределенности массы, то

$\leq T5\Gamma-$

О)

и равно оно примерно 10^{-24} сек. Поэтому при настоящем состоянии знания мы можем рассматривать эту величину как *абсолютную нижнюю границу измерения интервала во времени*.

3. КОСМИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ И РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ (I)

В главе I мы увидели, что люди давно поняли, что понятия времени и вселенной находятся в особенно тесной связи друг с другом. Открытие отсутствия в мировом масштабе одновременности для наблюдателей, связанных с инерциальными системами отсчета, как бы

¹ Следует отметить, что это согласуется со значением, полученным на стр. 201 для хронона и оправдывает наше рассмотрение длин, меньших чем 10^{-15} ел как не имеющих отношения к данному контексту. Оно также согласуется со следующим аргументом Дж. Уилера и Р. Фейнмана (J. A. Wheeler, R. P. Feynman, «Rev. Mod. Phys.», 17, 1945, 157--181). Если бы все фотоны в ко-

уничтожило эту связь и разрушило древнее представление об универсальном времени. Однако когда Эйнштейн фактически возродил идею эфира в 1915 году при формулировке своего представления о гравитационном пространстве-времени, имеющем внутреннюю неоднородную структуру, а также когда он в своей не менее известной статье «Вопросы космологии и общая теория относительности» (1917), посвященной применению общей теории относительности в космологии, вновь ввел идею о космическом времени \ с этой идеей оказалось связанным понятие об однородном пространственном субстрате, заданном общим распределением материи во вселенной, когда местные нерегулярности распределения «сглаживаются» при рассмотрении. К сожалению, Эйнштейн не провел систематического анализа точной связи между понятиями своей общей теории относительности и своей космологической теории, поэтому в этом вопросе до сих пор существует путаница. Причина этой путаницы состоит в том, что сначала Эйнштейн разработал теорию локального тяготения, а затем теорию всемирного тяготения. Следовательно, примыкающая к ней теория космического времени и пространства возникла как частное применение его общей теории тонкой структуры пространства и времени. Вместо этого мы должны в каче*стве окончательной системы отсчета взять «сглаженную» вселенную и рассматривать общую теорию относительности в первую очередь как метод анализа локальных полей тяготения, наложенных на поле мирового тяготения. Тогда возникает вопрос, обязательно ли сохранять характерные черты этой существенно локальной теории при изучении вселенной как целого. Действительно, когда Эйнштейн начал рассматривать последнюю, он решил видоизменить свою теорию путем введения в уравнения поля нового члена, содержащего новую константу

нечном счете поглощались, наличие поглотителей исключило бы эффекты, связанные с *опережающими* потенциалами, за исключением эффектов, связанных с реакцией излучения. Поскольку они ограничены временами порядка хронона, последний мог бы быть *кратчайшим возможным временем, четко разделяющим прошлое и будущее.*

¹А. Эйнштейн, в сборнике «Принцип относительности», стр. 315.

природы, так называемую «космологическую постоянную».

Конечной однородной моделью мира, разработанной Эйнштейном на основе введения этого члена, явилась статическая система в сферическом (или эллиптическом¹) пространстве. Как вскоре было указано Эддингтоном², во вселенной Эйнштейна для явлений космического масштаба восстанавливаются универсальные пространство и время, а «относительность сводится к локальному явлению». Хотя Эддингтон «был склонен смотреть на это ограничение довольно недоброжелательно», он доказал важное положение, заключающееся в том, что теория относительности не занимается отрицанием невозможности космического, или мирового, времени, а «занимается отрицанием того, что она имеет дело с когда-либо установленными экспериментальными знаниями». Поэтому он утверждал, что нам не следует беспокоиться по поводу присутствия понятия универсального времени в «теории явлений космического масштаба, о которых еще отсутствуют экспериментальные знания», и он сделал вывод, что, так же как и каждый ограниченный наблюдатель по-своему разделяет пространство и время, «существо, сосуществующее с миром, могло бы с успехом по-своему разделить пространство и время естественным для себя образом». Таким образом, Эддингтон попытался оправдать введение Эйнштейном вновь космического времени, рассматривая это понятие как одну из прерогатив вездесущего божества и, следовательно, исключив его из сферы экспериментальной науки³.

Вскоре после того, как Эйнштейн объявил об открытии своей, модели вселенной, голландский астроном де Ситтер опубликовал важную статью⁴, в которой он получил замечательный и неожиданный результат,

¹ Различие между ними имеет топологический характер. См. G. J. Whitrow. The Structure and Evolution of the Universe, London, 1959, p. 103.

² А. Эддингтон, Пространство, время и тяготение, стр. 162.
³ Этот аргумент противоречит аргументу самого Ньютона, частично основанному на осуществленном им эксперименте с вращающимся ведром, в пользу существования абсолютного пространства, которое, кстати сказать, он считал «чувствищем бога».

⁴ W. de Sitter, «Proc. Akad. Wetensch. Amsterdam», 19, 1917, 1217. См. также M. N. Roy, «Astron. Soc.», 78, 1917, 3.

заключающийся в том, что *пустая* вселенная не обязательно должна иметь метрику пространства-времени Минковского (предельный случай метрики в общей теории относительности при полном отсутствии тяготеющей материи). Открытие де Ситтера было прямым следствием введения Эйнштейном космологической постоянной в уравнения поля тяготения. Так как, если эта постоянная не равна нулю, метрика Шварцшильда для пространства-времени при наличии тяготеющей частицы массы m , находящейся в начале координат, принимает вид

$$1 - \frac{2Gm}{c^2 r} - \frac{4}{3} \Lambda r^2, \quad (III)$$

и если мы положим $m = 0$, что эквивалентно предположению о полной пустоте пространства, мы получим метрику

$$1 - \frac{4}{3} \Lambda r^2, \quad (IV)$$

Она превращается в метрику Минковского лишь при условии $\Lambda = 0$. Если $\Lambda \neq 0$, соотношение (11) определяет четырехмерное пространство постоянной кривизны $g = L$. В то время как вселенная Эйнштейна задается метрикой

$$ds^2 + dt^2 - \pm \{ t J^\Lambda + r^* (d\theta^2 + 4 \sin^2 \theta r^* dp^2) \} \quad (12)$$

и является «цилиндрической» в пространстве-времени (то есть сферической в своем пространственном сечении, заданном $t = \text{const}$, но открытой и «неискривленной» во времениподобном направлении), вселенная де Ситтера является гиперпсевдосферой в пространстве-времени. Другими словами, если мы формально заменим t на iw , где $i = \sqrt{-1}$, то мы получим четырехмерную сферу. Поскольку, однако, время задается величиной t , а не w , то, хотя сечениями, перпендикулярными к направлению времени,

являются замкнутые сферы, любое сечение, которое включает направление времени, представляет собой однополостный гиперболоид, открытый с обоих концов в этом направлении.

Очевидное¹ различие между (11) и (12) состоит в том, что метрика, заданная последним соотношением, превращается в dt^2 при обращении в нуль dr , du , dv , тогда как первое соотношение превращается в $(1 - \frac{2M}{r})dt^2$ и таким образом отличается от dt^2 везде, за исключением начала координат $r = 0$. Однако Ж. Леметр², а также Г. П. Робертсон² нашли, что путем введения новой переменной времени τ и нового радиального расстояния ρ , заданных формулами

$$\tau = \frac{t}{a} - \frac{2M}{a} \ln \left| \frac{r}{2M} - 1 \right|, \quad (13)$$

где $a = \sqrt{3/8\pi\rho}$, метрику вселенной де Ситтера можно представить в виде следующего выражения:

$$ds^2 = d\tau^2 - \frac{a^2}{\rho^2} \left(d\rho^2 + \rho^2 d\Omega^2 \right), \quad (14)$$

что ds сводится к элементу собственного времени dt во всех точках, для которых ρ , θ и φ являются постоянными. В настоящее время считается общепризнанным, что (14) является физически осмысленной формой метрики де Ситтера, то есть не r и t , а ρ и τ являются координатами, которые необходимо ввести в физическую теорию. Для этого вида пространственное поперечное сечение $g_{ij} = 0$ дает трехмерный элемент пространства, который увеличивается с течением времени τ , причем расстояние между любыми двумя точками, заданными фиксированными значениями ρ , θ и φ , изменяется как $e^{H\tau}$. Следовательно, вселенная де Ситтера не является вполне статической. Строго говоря, она представляет собой модель мира, которая расширяется экспоненциально со временем.

Вселенная де Ситтера только кажется статической благодаря своей пустоте. Как установил сам де Ситтер,

если свободная частица находится в ней на расстоянии r от центра, она автоматически приобретает ускорение, направленное вовне и равное $-\frac{2M}{r^2}$. Поэтому, если в

эту модель вводится материя, то она автоматически приходит в состояние систематического движения. Это не удивительно. Член, содержащий космологическую постоянную, введенную Эйнштейном в уравнения поля, соответствует, по терминологии Ньютона, силе отталкивания. В каждой точке вселенной Эйнштейна космическое отталкивание в точности уравновешивается всемирным тяготением. Следовательно, вселенная Эйнштейна является истинно статической. Де Ситтер по сути дела устранил всемирное тяготение, взяв бесконечно малую плотность материи во вселенной так, что остаются только эффекты космического отталкивания. Таким образом, как заметил Эддингтон, неизменность вселенной де Ситтера зависела буквально от отсутствия в ней материи, то есть «от простого умения забыть поместить в нее то, что могло бы вызвать изменение». Поскольку реальная вселенная не является ни идеально неподвижной, ни идеально пустой, встает вопрос: «Введем ли мы немного движения в Эйнштейнов мир инертной материи или мы введем немного материи в перводвигатель де Ситтера?»¹

С теоретической точки зрения решающий ответ был дан в 1930 году Эддингтоном, который установил, что модель вселенной Эйнштейна неустойчива: если немного увеличить ее радиус, космическое отталкивание превзойдет гравитационное притяжение и радиус будет продолжать увеличиваться дальше, а если радиус немного уменьшить, всемирное тяготение превзойдет космическое отталкивание, поэтому модель будет продолжать сжиматься. По мнению Эддингтона, история реальной вселенной представляет собою неуклонный переход от первоначального состояния Эйнштейна к окончательному состоянию де Ситтера.

Теоретические исследования Эддингтона были стимулированы открытием в 1929 году Хабблом эмпирического закона, связывающего красные смещения в спектрах

¹ G. Lemaitre. «J. Math. and Phys. (M. I. T.)», 4, 1925, 188.

² H. P. Robertson, «Phil. Mag.», 7, 1928, 835.

¹ A. S. Eddington, The Expanding Universe, Cambridge, 1933, p. 46.

внегалактических туманностей с расстояниями до них. Предполагая, что эти красные смещения были доплеровскими смещениями, вызванными разлетом, Хаббл получил соотношение, известное с тех пор как *закон Хаббла*

$$v = H_0 r / T_0 \quad (15)$$

где v — радиальная скорость, r обозначает расстояние, а T_0 имеет одно и то же значение для всех исследованных туманностей. Преобладание красных смещений в спектрах внегалактических туманностей было известно за несколько лет до этого и заставило многих астрономов и других ученых уделить особое внимание "модели мира де Ситтера. Открытие закона Хаббла несколько задержалось из-за серьезных трудностей в деле определения надежной шкалы расстояний для внегалактических объектов. Для того чтобы определить T_0 , нужно было выйти за пределы так называемого местного скопления (включающего в себя туманность Андромеды, Млечный Путь и некоторые меньшие системы, например Магеллановы облака) и оценить расстояния до некоторых галактик, находящихся вне этой группы. С помощью 100-дюймового телескопа обсерватории Маунт-Вилсон переменные цефеиды удалось обнаружить только в туманностях локального скопления. С их помощью оказалось возможным оценить, как далеко находятся эти системы. В некоторых туманностях, удаленных на очень большое расстояние, для того чтобы в них можно было обнаружить звезды этого типа, Хаббл обнаружил некоторые объекты, которые, по его мнению, являлись наиболее яркими звездами, составлявшими туманности. Сравнивая их видимую величину с величинами самых ярких звезд в туманностях, удаление которых уже было установлено, он смог оценить, на каком расстоянии они (а следовательно, и содержащие их туманности) находятся от Земли. Когда он сопоставил расстояния до этих туманностей со смещениями линий в их спектрах, он получил соотношение (15) и нашел, что T_0 , видимо, равна примерно 2 миллиардам лет.

За последние годы шкала расстояний Хаббла значительно видоизменилась. В 1952 году Бодде показал, что шкала локального скопления занижена из-за ошибки в шкале расстояний для переменных цефеид. В результате было общепринято, что эта шкала должна быть умно-

жена примерно на 3. Затем в 1958 году Сэндэдж¹ установил, что в туманностях, находящихся вне локального скопления, объекты, принятые Хабблом за яркие звезды, являются в действительности областями раскаленного газообразного водорода (известные астрономам под названием области НИ), «которые выглядят внешне как яркие звезды». Хотя и в настоящее время еще нельзя строго пересмотреть закон Хаббла, видимо, T_0 может составлять что-то около 1,3 миллиарда лет с точностью до множителя 2.

Хотя делаются неоднократные попытки найти некоторое иное объяснение для красного смещения спектров внегалактических туманностей, гипотеза о разлете, основанная на предположении о доплеровском происхождении этих красных смещений, стоит в течение последних тридцати лет на довольно прочном фундаменте. Более того, насколько удалось сравнить смещения длин волн в видимой части света и смещения длин волн в инфракрасной части спектра, оказалось, что относительный сдвиг λ/λ_0 для линий спектра заданной туманности не зависит от длины волны. Это является необходимым, но недостаточным условием того, что данное явление обусловлено движением. Таким образом, преобладающим мнением среди астрономов является следующее: внегалактические группы туманностей разлетаются от локального скопления так, что их скорости пропорциональны их расстояниям. Это «расширение вселенной» обычно рассматривается как имеющее космический характер, который должен наблюдаться из любой группы туманностей. Другими словами, мы не считаем, что наше локальное скопление является особым центром вселенной, от которой отлетают группы туманностей; скорее имеет место непрерывное увеличение коэффициента шкалы, определяющего размер области, занимаемой любой данной совокупностью групп туманностей.

Открытие расширения вселенной явилось огромной революцией в представлениях человека о космосе². Сей-

¹ A. R. Sandage, «Astrophysical Journal», 127, 1958, 513.

² Интересно отметить, что в то время, как Ньютон, а также Эйнштейн в 1917 году рассматривали вселенную как пребывающую в одном и том же состоянии во время всей своей истории, Декарт

час мы интересовались исключительно влиянием этого открытия на человеческие представления о времени. В главе I мы подняли проблему о естественном «происхождении времени», на которое наводит мысль гипотеза о расширении вселенной в течение всей ее истории. Прежде чем исследовать дальше этот вопрос, нам нужно рассмотреть различные теоретические возможности, которые могут возникнуть, если мы не будем настаивать на условии статичности вселенной в целом.

4. КОСМИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ И РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ (II)

В зависимости от того, какую теорию пространства мы примем: «абсолютную» или теорию «отношений», можно рассмотреть в принципе два различных типа взаимосвязи между материей в целом и пространством. Хотя первая из теорий обычно связывается в истории с именем Лейбница, она в действительности возникла гораздо раньше. Согласно этой точке зрения, пространство есть связь пространственных отношений материальных объектов. (Несколько отличную, но родственную гипотезу защищал Декарт, который *отождествлял* «протяженность», то есть пространство с материей.) С другой стороны, Ньютон считал, что пространство внутренне чуждо материи, что оно существует само по себе и поэтому оно является абсолютным. Хотя эта положительная идея о пустом пространстве была фундаментальной чертой философии кембриджских платоников XVII века (под сильным влиянием которых находился Ньютон), ее не разделяли другие философы, например Локк¹, до тех пор

предполагал, что вселенная изменяется во времени, начинаясь с хаоса и переходя в упорядоченное состояние, которым является в настоящее время мир.

¹ Как указывал профессор Джеймс Гибсон в своем блестящем исследовании локковской теории пространства, составившем предмет книги «Теория познания Локка и ее историческое влияние» (J. Gibson, *Locke's Theory of Knowledge and its Historical Relations*, Cambridge, 1931, p. 245—254), взгляды Локка претерпели значительное изменение между 1678 и 1690 годами. В 1676—1678 годах Локк опубликовал три статьи о метафизике пространства. В первой из них он утверждает, что пространство, отделенное от материи, «видимо, существует не более реально, чем число (*sine* перечисления)

пока в 1687 году не были опубликованы «Начала» Ньютона. Теоретическое убеждение Ньютона было подкреплено его истолкованием эксперимента с вращающимся ведром¹, как решающей проверки абсолютности вращательного движения. Абсолютное пространство было связано Ньютоном с классом инерциальных систем отсчета. Этот класс определял агрегат всех фиксированных направлений, то есть «компас инерции», если использовать удачное выражение Гёделя². Тем не менее Ньютон мог отличать класс инерциальных систем отсчета от всех прочих мыслимых классов систем отсчета, находящихся в равномерном движении относительно той же инерциальной сопутствующей системы отсчета, путем выбора конкретной точки как начала координат в конкретной системе отсчета. На основе этой точки зрения он произвольно отождествил центр масс солнечной системы с «центром мира»³.

Несмотря на то что Локк в общем поддерживал Ньютона, он рассматривал вопрос об отношении «места» все-

без чего-то перечисляемого». В более поздних статьях Локк склонялся к точке зрения, согласно которой пространство есть отношение, являясь в случае тел «ничем, кроме отношения расстояния оконечностей», а в случае незанятого пространства ничем, кроме «голой возможности существовать для тела». Следовательно, «пространство как предшествующее полю или какому-нибудь определенному бытию в действительности есть ничто», и его предполагаемая бесконечность, хотя и «подлежащая пониманию», не есть свойство какого-либо реального бытия. Но в «Опыте о человеческом разуме», опубликованном в 1690 году, Локк утверждает, что пространство существует само по себе как «однородный бесконечный океан». Поскольку «различие между «пространством самим по себе» как чем-то «однородным и безграничным» и протяженностью тела, данной нам в чувственных восприятиях, вряд ли можно рассматривать как прямое следствие принципов самого Локка, естественно было бы поискать некоторое внешнее влияние, которое могло бы объяснить доктрину «Опыта о человеческом разуме». Локк прилежно изучал «Начала» Ньютона. Брюстер в своих «Мемуарах о сэре Исааке Ньютоне» (D. Brewster, *Memoirs of sir Isaac Newton*, vol. 1, p. 339) упоминает, ссылаясь на Дезаголье, что, как говорил сам Ньютон, Локк (будучи в то время в ссылке в Голландии) спрашивал Гюйгенса, правильны ли все *математические* теоремы «Начал». После того как он убедился в этом, он исследовал дедукции из них и стал твердым последователем Ньютона.

¹ См. стр. 49.

² K. Gödel, «Rev. Mod. Phys.», 21, 1949, 447.

³ И. Ньютон, Математические начала натуральной философии книга III, Предложение XII, Теорема XII, Собрание трудов акад. А. Н. Крылова, т. VII, М. — Л., 1936, стр. 527.

ленной к «месту» бесконечного пространства как неразрешимый и сделал существенное замечание: «...кто сможет узнать и ясно и четко представлять себе в уме место вселенной, тот будет в состоянии сказать нам, движется ли она или пребывает в покое среди неразличимой пустоты бесконечного»¹. Хотя Локк не упоминает об эксперименте Ньютона с вращающимся ведром, последний устанавливает лишь существование во вселенной фундаментальных направлений. Эти направления могут быть определены первичным распределением материи и движения и являются совместимыми с расширением мира (или сжатием мира). Согласно «абсолютной» теории, такое расширение должно быть расширением материальной вселенной во внешнее пустое пространство, подобно диффузии газа в окружающий вакуум. Согласно теории «отношений», вне вселенной нет ничего, даже пустого пространства, а ее расширение представляет собой просто изменение масштабных отношений во вселенной как целом к линейным размерам эталонных составных частей, например к диаметру эталонного атома, радиусу электрона или протона или длине волны фотона, излученного при конкретном внутриатомном переходе. «Абсолютные» направления сопутствующей инерциальной системы должны быть автоматически определены направлениями радиального удаления.

После возникновения идеи о расширении мира были разработаны две различные математические методики построения моделей мира: *методика расширяющегося пространства* и *кинематическая методика*. Обычно их рассматривают просто как два различных математических метода; действительно, как было показано, между ними существует тесная взаимосвязь. Тем не менее они глубоко философски различны, так как методика расширяющегося пространства является естественным спутником представления о пространстве как совокупности отношений, а кинематическая методика самым естественным образом связана с представлением об абсолютном пространстве. Таким образом, в одном случае имеется движение пространства, а в другом — движение в пространстве, то есть в первом случае пространство

¹ Д. Ж. Локк, Опыт о человеческом разуме, кн. 4, гл. 13, § 10; Д. Ж. Локк, Избр. произв., т. 1, стр. 187—188.

является каркасом всей материи, и этот каркас расширяется, а во втором внимание сосредоточивается скорее на типе движения фундаментальных частиц², чем на структуре пространства³.

Независимо от выбора методики вслед за Вейлем³ постулируют, что в каждой области вселенной, которая является достаточно протяженной, имеется определенное среднее движение материи, причем отклонения действительных движений индивидуальных макроскопических тел в этой области от их средних значений относительно малы (по сравнению со скоростью света) и несистематичны. В этом случае фундаментальная частица определяется как частица, имеющая это среднее движение и массу, соответствующую полному количеству материи в этой области. С этой фундаментальной частицей связана система отсчета пространства-времени, которая может рассматриваться как фундаментальная система для всех макроскопических тел в области. Собственное время, связанное с этой системой, выполняет функции Среднего локального времени для области. Его стоит называть *космическим временем* по следующим двум причинам. Во-первых, обнаружено, что в обычно рассматриваемых однородных моделях мира оно выполняет функцию универсального времени, как координата времени в метриках вселенной Эйнштейна и вселенной де Сиггера. Итак, в каждой области оно может рассматриваться как масштаб времени основного ритма вселенной, проявляющегося в локальных атомах и электромагнитных колебаниях и т. д. На практике эти естественные часы подвержены малым возмущениям, обусловленным индивидуальными движениями, локальными гравитационными полями и т. д., но в принципе они могут быть сглажены статистическим усреднением. Следовательно, космическое время — существенно статистическое понятие, как температура газа.

Кроме того, обычно полагают, что в системе отсчета пространства-времени каждой фундаментальной частицы пространственные направления вокруг любой точки

² Идеализации главных агрегатов материи (скоплений туманностей).

³ L. Infeld and A. Schild, «Phys. Rev.», 68, 1951, 250, 936,

³ H. Weyl, «Phis. Zeit», 24, 1923, 230; «Phil. Mag.», 9, 1930

в трехмерном пространстве, заданном уравнением $t = \text{const}$, являются неразличимыми. Этот постулат о пространственной изотропии также является существенно статистически постулатом, справедливым только для усредненного распределения материи внутри достаточно большой области.

Каждая фундаментальная частица покоится по отношению к рассматриваемой локальной системе отсчета. Полная совокупность таких частиц соответствует семейству геодезических в пространстве-времени, каждая из которых представляет связанное с ней собственное время. Сечение $t = \text{const}$, принадлежащее этому семейству, представляет собой трехмерное пространство, которое изменяется с течением времени. Согласно взгляду на пространство как на совокупность отношений, нам не нужно рассматривать движения индивидуальных частиц, а достаточно рассмотреть лишь последовательность изменений структуры пространства как целого. Интересно отметить, что эта идея в общем виде была предвосхищена намного раньше, в 1885 году, Клиффордом, когда он заметил, что пространство может иметь одинаковую кривизну, «... но величина его кривизны может изменяться как целое во времени. В таком случае наша геометрия, основанная на тождественности пространства, сохранит свою силу для всех частей пространства, но перемены в кривизне могут произвести в пространстве ряд последовательных видимых физических изменений»¹. В 1928 году эта идея нашла свое более точное выражение, когда Робертсон² пришел к выводу о том, что пространственно-временная метрика однородной и изотропной модели мира может быть выражена в форме³

$$ds^2 = \dot{u}t^2 - i \cdot R^2 (0 \text{ do}^2, \quad (16)$$

где do — элемент длины в пространстве постоянной кривизны, а $R(t)$ — функция космического времени /,

¹ В. Клиффорд, Здравый смысл точных наук, Петроград, 1922, стр. 170.

² H. P. Robertson, «Proc. Nat. Acad. Sei.» (Washington), 15, 1929, 822.

³ Этот результат был также получен независимым методом несколько лет спустя А. Дж. Уокером. Метрику (16) поэтому называют метрикой Робертсона — Уокера.

обычно известная под названием *коэффициента расширения*.

Иная, кинематическая точка зрения на расширяющуюся вселенную была впервые систематически исследована в 1932 году Э. А. Милном¹, который построил модель мира, образованного непрерывной трехмерной системой фундаментальных частиц, находящихся в состоянии равномерного и прямолинейного относительного движения из начального состояния как особенности, в котором все частицы в момент $t = 0$ находятся в одной точке. С точки зрения наблюдателя, связанного с любой одной из этих частиц, все другие частицы предполагаются находящимися в евклидовом пространстве, причем вся система занимает внутренность расширяющейся сферы в этом пространстве. Позднее Милн нашел, что, если шкалу времени изменить с t на t , причем t связано логарифмически с t , его модель мира могла бы быть описана как стационарная система в гиперболическом пространстве (постоянной отрицательной кривизны), причем каждая фундаментальная частица находится в фиксированной точке этого пространства². Таким образом, оказавшись, что эту модель можно рассматривать с обеих точек зрения, хотя, если отождествить фундаментальные частицы с конкретными точками пространства, связанная с ними шкала времени не будет однородным временем атомных колебаний³.

В метрике (16) координата / является собственным временем не только для покоящейся фундаментальной частицы в начале координат, но также для любой другой частицы, покоящейся по отношению к системе пространственных координат. Наличие в модели этого космического времени тесно связано с тем, что соответствующие ему трехмерные пространственные сечения определены только лишь фундаментальными частицами, то есть это пространство является пространством отношений, а не абсолютным пространством с независимым

¹ E. A. Milne, «Zeit. f. Astrophys.», 6, 1933, 1—95.

² E. A. Milne, «Proc. Roy. Soc.» (London), A, 158, 1937, 324.

³ Конечно, Милну пришлось отказаться от гипотезы о том, что имеется *единственная* естественная шкала времени, связанная с каждым фундаментальным наблюдателем,

существованием самим по себе'. Ввиду важности этого обстоятельства мы получили метрику (16) несколько иным путем, отличным от методов Робертсона и Уокера, но делающим более наглядной связь между космическим временем и мировым пространством.

Мы начнем с формулировки гипотезы концепции отношений, согласно которой материальная вселенная в своих самых общих чертах может быть отождествлена с мировым пространством². Более того, мы предположим, что наблюдатель, связанный с любой фундаментальной частицей, может выбрать шкалу измерений длины так, что, если он пожелает, он может рассматривать это пространство как статическое. Другими словами, он может взять саму вселенную в качестве основы для возможной шкалы длины. Эта точка зрения, конечно, полностью совместима с понятием расширения, поскольку любое изменение относительно. Так как если вселенная в действительности расширяется относительно наших материальных стандартов, то и наоборот, последние можно рассматривать как сжимающиеся относительно размеров вселенной. Как заметил Эддингтон,

¹ Можно упомянуть, что в модели Милна, в которой фундаментальные частицы движутся через пространство прямолинейно и равномерно, нет космического времени; время, приписываемое удаленному событию ξ наблюдателем, связанным с любой данной фундаментальной частицей, не является тем же, что и собственное время E .

² Если это не так, то относительные движения фундаментальных частиц должны рассматриваться как совершающиеся в пространстве, которое задано не только самими фундаментальными частицами. Наше предположение не является априорным условием, которое должно быть удовлетворено, а лишь условием, характеризующим класс подлежащих рассмотрению моделей мира. Любая такая модель может рассматриваться как определяющая окончательное твердое тело «Альфа», существование которого постулировано Карлом Нейманом в его знаменитой лекции, прочитанной в Лейпциге в 1869 году (см. W. Wilson, «Science Progress», 38, 1950, 622–636). Оно автоматически включает в себя «компас инерции», то есть агрегат фиксированных направлений (относительно каждой фундаментальной частицы), наличие которого вытекает из законов движения Ньютона и свойств вращающихся тел. Методы Робертсона и Уокера, основанные на математической теории непрерывных групп преобразований, показывают, что наше условие не является независимым постулатом по отношению к требованиям однородности и изотропности.

«теорию «расширяющейся вселенной» можно также назвать теорией «сжимающегося атома»'.

Далее, мы предполагаем, что наблюдатель A , связанный с данной фундаментальной частицей, приписывает любому событию E расстояние r^{\wedge} и теоретическую эпоху t в соответствии с аксиомами, из которых следуют общие правила, полученные на стр. 245, а именно

$$/ \bullet = u \& - * (!) \}.$$

где $/i$ и t_2 — времена запаздывания и опережения, соответственно, события E , зарегистрированные A посредством часов, которые синхронизованы с естественной шкалой времени в A , например с «атомными часами». Из этих формул следует, что

$$5 (/ \bullet) = \Gamma, \quad (17)$$

Поскольку мы предположили, что вселенная может быть описана в A как статическая, расстояние, приписываемое A любой другой заданной фундаментальной частице B , будет постоянным. Поэтому, если мы считаем, что событие E находится в B , то из этого следует, что g в формулах (17) не должно зависеть от времени. Следовательно, для любого t соответствующие значения t и t_2 , связанные с заданным B , удовлетворят формулам (17), где g будет константой, зависящей от конкретных L и o , а функция $|\wedge$ такова, что ее производная обозначает скорость света относительно A .

Если мы еще сохраним сглаженную вселенную как шкалу для измерений длины, но будем рассматривать различные вспомогательные шкалы времени², связанные с A , мы получим различные выражения для скорости света (относительно A), соответствующие различным функциям $\xi(/)$. В частности, если мы выбираем вспомо-

¹ A. S. Eddington, The Expanding Universe, Cambridge, 1933, p. 90.

² Вообще эти шкалы не будут естественными шкалами времени; они получены путем математических преобразований естественной шкалы времени.

гательную шкалу времени T , функционально связанную со шкалой времени уравнений (17) посредством формул

$$T = S(\mathbf{O},$$

то мы получим соотношения

$$T^{\wedge} T, + r, \quad (18)$$

вместо (17). Следовательно, если мы будем рассматривать вселенную как гипотетическую измерительную линейку и использовать вспомогательную переменную времени T , скорость света относительно A теперь будет константой. Поскольку любая другая фундаментальная частица B находится на фиксированном расстоянии от L , из результата, полученного на стр. 262—263, следует, что значение T , теоретически приписываемое A любому событию E в B , должно тождественно совпадать со значением T' , фактически регистрируемым B , то есть значением, полученным путем преобразования собственного времени f события E в B по формуле $T' = \gamma(t)$. Следовательно, возвращаясь к естественным шкалам времени в A и B , мы находим, что время t , теоретически приписываемое наблюдателем в A любому удаленному событию, совпадает с собственным временем f события, зарегистрированного по естественной шкале времени, связанной с локальной фундаментальной частицей. Поэтому мы должны рассматривать t в формулах (17) как время, справедливое для всего мира. Таким образом, скорость света является универсальной функцией $Z(t)$ этого космического времени, а пространственное расстояние между любыми двумя событиями также инвариантно для всех фундаментальных наблюдателей.

Мы нашли, что представление о вселенной как о совокупности отношений, согласно которой не имеется независимого пространственного фона, к которому можно привязать происходящие систематические изменения в геометрической структуре вселенной, подразумевает существование космического времени¹.

¹ Интересно отметить, что, когда Милн впервые склонился к кинематическому взгляду на разлет галактик, он усиленно отрицал концепцию космического времени (E. A. Milne, «Zeit. f. Astrophys.», 6, 1933, 17). Кроме того, общие кинематические модели рассмотренные Милном и Уитроу (E. A. Milne and G. J. Whitrow, «Zeit. f. Astrophys.», 15, 1938, 263—298), также не содержат физи-

Далее мы постулируем локальную справедливость специальной теории относительности во все моменты времени и во всех местах сглаженной вселенной, поскольку все локальные гравитационные поля сглажены и превращены в общий мировой фон. Собственное время ds между двумя соседними событиями в эксперименте с галилеевским наблюдателем, когда наблюдение фундаментальной частицы A с относительной скоростью V связано с временным (относительно A) интервалом от t до $t + dt$ между этими событиями, выражается формулой $ds = \sqrt{c^2 dt^2 - v^2/c^2}$, где $c = c(t)$, скорость света в эпоху t . Если мы обозначим через da расстояние между положениями двух событий в пространственно-подобном сечении пространства-времени ($t = \text{const}$) наблюдателя A , то, поскольку $V = da/dt$,

Заменяя c на $g(t)$, мы получим формулу

$$(19)$$

Поскольку t , dt и da являются инвариантами для наблюдателей, связанных со всеми фундаментальными частицами, то ds^2 также является инвариантом. Элемент длины пространственного сечения, заданного соотношением $t = \text{const}$, должен локально быть евклидовым в силу локальной справедливости специальной теории относительности; но, когда мы переходим к системе отсчета любой другой фундаментальной частицы, эта локально евклидова метрика станет метрикой пространства постоянной кривизны, поскольку оно является единственным типом пространства, которое везде однородно, изотропно, непрерывно и локально евклидово.

Наконец, мы оставим космическое время t , но выберем новую шкалу длины dp так, что локальная скорость

еще осмысленного космического времени. Эти модели составлены (из фундаментальных частиц, движущихся радиально через независимые фоновые пространства. Если использовать принятые метрические единицы, некоторые из констант природы, например гравитационная постоянная, изменяются со временем. Поэтому в силу гипотезы, принятой в конце главы I, мы не будем рассматривать эти модели,

света всегда имеет постоянную величину c . Для этого мы выберем

$$\dots \quad (c = \dot{a} da.$$

Если мы теперь напишем $R(i)$ для $c/\dot{a}(t)$ так, что

$$dp =: R(t) da,$$

то получим

Таким образом, мы получили стандартную формулу мировой метрики, то есть выражения (16), соответствующую удаляющемуся движению, пропорциональному $R(t)$. Фундаментальные частицы, заданные $da = 0$, то есть с помощью стационарных точек, в первоначальном пространственном каркасе, рассматриваются теперь как «вмороженные» в пространство с переменным коэффициентом масштаба $R(t)$. Траектории луча света задаются уравнениями нулевых геодезических.

Хотя мы установили, что метрика однородной, изотропной модели мира может быть выражена формулой (16)¹, у нас нет доводов в пользу приписывания той или иной конкретной формы масштабному коэффициенту $R(t)$, за исключением следующего условия: он должен быть в настоящее время возрастающей функцией времени. В пользу принятия конкретной формы этой функции были выдвинуты различные теоретические аргументы, но ни один из них не стал общепринятым.

Сохранив общую формулу $R(t)$ для фактора расширения, мы легко сможем получить соответствующий закон красного смещения, то есть закон, связывающий доплеровские смещения и расстояния для области, ближайшей к наблюдателю. Поскольку вдоль светового луча ds равен нулю, из (16) следует при замене da на dr , что, если фотон вылетает из фундаментальной частицы P в локальное время t' и принимается наблюдателем, связанным с частицей O в начале координат по локальному времени в момент t'' , то

$$\int_{t'}^{t''} \frac{c dt}{R(t)} = \dots$$

¹ При условии, что модель допускает наличие трехмерной системы отсчета.

где символ справа обозначает постоянную g -координату, приписываемую P наблюдателем O . Следовательно, если другой фотон, испущенный P в локальное время $t' + \delta t'$, где $\delta t'$ мало, принимается O в локальное время $t'' + \delta t''$, то

$$M, \quad \ll'$$

Если ν' — собственная частота световых сигналов, испущенных P , а ν_0 — измеренная частота при их приеме в P , то, приравнявая число принятых колебаний числу испущенных колебаний, получим

Отсюда мы получим формулу для смещения

$$z, —$$

Следовательно, если P расположено не слишком далеко от O и мы заменяем $\delta \lambda / \lambda$ на ν / c , где ν — скорость, соответствующая этому спектральному смещению, мы находим, что

где R обозначает производную от $R(t)$, а нулевой индекс указывает значение отношения R/R в «настоящую» эпоху, а z — расстояние¹ от P до O .

Если отождествить теоретическую формулу (20) с эмпирическим результатом (15), постоянная Хаббла должна быть связана с отношением $(R/R)_0$ формулой

Поэтому, если мы знаем, как «постоянная» Хаббла T зависит от космического времени t , вместо того чтобы знать лишь его значение в настоящее время T_0 , мы сможем проинтегрировать (21) и получить

$$4- \quad (22)$$

Вообще говоря, T будет изменяться с течением времени. Но если она является истинной константой при-

¹ Мы заменили символом выражение $c(t', - t)$.

роды и, следовательно, не зависит от эпохи, то $K(t)$ должен быть пропорционален $\exp(t/T_0)$ так же, как и в случае пустой вселенной де Ситтера. Та же форма метрики также характеризует и устойчивое состояние вселенной¹, в котором однородная плотность везде поддерживается с помощью постулированного процесса непрерывного творения новой материи $\exp \text{ nihilo}$, в то время как старая материя растекается вследствие космического разбегания². В обеих этих моделях мира полный диапазон космического времени является бесконечным, то есть t может принимать все значения. В случае большого числа других моделей, зависящих от других форм $R(t)$, полная область изменений значений времени ограничена наличием особенностей. Например, в случае однородно расширяющейся модели, а именно когда $R(t)$ пропорционален эпохе t , имеет место начальная сингулярность при $t = 0$, когда все расстояния равны нулю. В этом случае $T = t$, и, таким образом, если мы примем эту модель, настоящее значение постоянной Хаббла является непосредственной мерой возраста вселенной.

Среди различных возможностей две заслуживают особого внимания; они были предложены: Эйнштейном и де Ситтером — одна и Дираком — другая.

(1) Эйнштейн и де Ситтер³ разработали в 1932 году важную модель мира (подчиняющуюся законам общей теории относительности), в которой и пространственная кривизна, и космологическая константа равны нулю. В этой модели, известной под названием *вселенной Эйнштейна — де Ситтера*, $R(t)$ пропорционально t^2 , а следовательно, $\dot{R} = 2 \cdot 0 \cdot t^{-1}$. В ней при $t = 0$ также имеется особенность, поэтому современный возраст вселенной должен быть равен двум третям постоянной Хаббла T_0 .

(2) В 1938 году Дирак⁴ предложил другую модель, в которой пространственная кривизна равна нулю, а

¹ H. Bondi and T. Gold, «Monthly Notices Roy. Astron. Soc.» 108, 1948, 252—270; F. Hoyle, ibid., 372—382.

² В этой модели мира фоновое пространство определяется не фундаментальными частицами, а схемой распределения скоростей в модели, которая фиксирована в пространстве на все время.

³ A. Einstein and W. de Sitter, «Proc. Nat. Acad. Sci.» 18, 1932, 213.

⁴ P. A. M. Dirac, «Proc. Roy. Soc.» (London), A, 165. 1938, 199—208,

$R(t)$ пропорциональна t^4 . В ней тоже имеется сингулярность в $t = 0$, но в этом случае настоящий возраст вселенной должен насчитывать одну треть постоянной Хаббла T_0 .

Но эти модели, однородно расширяющаяся модель Милна и модель устойчивого состояния, кроме того, характеризуются тем, что в них $G\rho = \text{const}$, где G, ρ, T — значения в любую заданную эпоху t «гравитационной постоянной», средняя локальная плотность и постоянная Хаббла соответственно. Это произведение безразмерно (то есть является просто числом) и будет примерно равно единице, если мы примем, что (в системе СГС) $G = 6,66 \cdot 10^{-8}$, $\rho = 10^{-29}$, $T = 3 \cdot 10^{17}$. Это конкретное значение ρ , однако, должно означать, что между галактиками и скоплениями должно быть значительно больше материи, чем содержится в них. Хотя такая возможность не исключена, пока она не подтверждена данными наблюдений. Поскольку ρ изменяется обратно пропорционально R^3 во всех моделях, кроме теории устойчивого состояния, где она поддерживается постоянной посредством непрерывного творения, и $T = R/\dot{R}$, если мы предположим, что $G\rho T^2$ является универсальной числовой постоянной, не зависящей от эпохи, G пропорциональна $R\dot{R}^2$, то есть отношение G и $R\dot{R}^2$ не зависит от эпохи. В модели Милна (однородное расширение) R изменяется пропорционально t и G , следовательно, изменяется пропорционально t . Если, однако, мы постулируем, что G не зависит от эпохи, то $R\dot{R}^2$ постоянно, а из этого следует (при соответствующем выборе нуля t), что $R(t)$ изменяется пропорционально t^2 (модель Эйнштейна — де Ситтера). В модели устойчивого состояния $G\rho T$ не зависят от эпохи, а следовательно, $R(t)$ пропорционально $\exp t$, что мы уже видели.

Модель Дирака получается при введении добавочной гипотезы, согласно которой G изменяется обратно пропорционально T . Дирак обосновывал эту гипотезу интересным фактом, состоящим в следующем: число хронов (атомных единиц времени, примерно равных 10^{24} секунды), содержащихся в Γ_0 (ранее постоянной

¹ В частности, это условие выполняется во всех моделях, основанных на общей теории относительности,

Хаббла приписывалось значение $6 \cdot 10^{16}$ секунд), примерно равно 10^{39} . Это огромное число по порядку величины равно отношению электростатической силы между протоном и электроном и их гравитационным притяжением.

Поэтому Дирак утверждал, что это отношение изменяется пропорционально T . Следовательно, если мы предполагаем, что массы и заряды этих элементарных частиц являются константами, то G должно изменяться обратно пропорционально T . Если мы объединим этот вывод с нашей гипотезой относительно GpT^2 при соответствующем выборе нуля t , то $R(t)$ должно изменяться пропорционально $t^{\frac{1}{2}}$ и, следовательно, $t = -\frac{1}{2}T$. (Наконец, Дирак взывал не к нашему постулату относительно GpP , а к несколько менее правдоподобному аргументу относительно p .)

Гипотеза о постоянстве GpP , однако, применима не ко всем мировым моделям¹. Например, в моделях Эддингтона и Леметра это произведение является функцией космического времени. Эти модели, подчиняющиеся законам общей теории относительности, основаны на следующих специальных гипотезах: (1) космологическая постоянная существенно отлична от нуля и на деле является положительной; (2) вселенная однажды была статической вселенной Эйнштейна. Модель Леметра состоит в том, что бурно взорвавшийся сверхзатем медленно прошел через фазу статической вселенной Эйнштейна как через состояние неустойчивого равнове-

¹ Принимая, что современное значение постоянной Хаббла (указывающей масштаб времени вселенной) равно примерно 10^{17} секундам, а единица нейрофизиологического времени (которое, видимо, регулирует наши мыслительные процессы) примерно равно 10^{-3} секунды (миллисекунды), позволительно поставить вопрос: простым ли забавным совпадением является факт, что отношение первого к последнему почти совпадает с отношением последнего к хронону (10^{-24} секунд)?

² В любой однородной модели мира, построенной в рамках общей теории относительности с космологической постоянной L и показателем кривизны k ($k = 0, -1$ для положительной, нулевой или отрицательной кривизны соответственно), мы имеем

сия. В этой фазе начиналась модель Эддингтона. В обеих этих моделях GpP^2 обратно пропорционально $q^3 - 3 < 7 + 2$, где q — отношение радиуса модели в любую последующую эпоху к его радиусу в фазе равновесия, когда 7 фактически «бесконечно». Согласно любой из этих моделей, настоящий возраст вселенной должен превышать современное значение T и равняться примерно $20-50$ тысячам миллионов лет.

Если, однако, мы предположим, что космологическая константа равна нулю¹, то данные наблюдений, обзор которых был дан в 1956 году Хьюмезоном, Мэйоллом и Сэндэджем², указывают на замкнутость вселенной, то есть на положительность ее пространственной кривизны; но более свежие данные, полученные Баумом³, дают основания полагать, что пространственная кривизна может быть ближе к нулевому значению характеристики евклидова пространства. Если оно равно нулю, то наиболее удобной из моделей общей теории относительности для рассмотрения является вселенная Эйнштейна — де Ситтера. Если взять для постоянной Хаббла значение Сэндэджа (или, скорее, возможный ряд значений), мы найдем, что возраст вселенной должен в таком случае быть равен $6,6-13,3$ тысячам миллионов лет. Эти значения несколько уменьшатся, если кривизна будет положительной. Недавно полученные на основе теоретического исследования возраста солнечной системы и тяжелых элементов (приблизительно 7 тысяч миллионов лет, согласно супругам Бербиджам, Фаулеру и Хойлу⁴) значения не совместимы поэтому с взрывающимися моделями как евклидова, так и замкнутого типа, поскольку мы можем судить на основе современных, не вполне увязанных друг с другом данных. Как заметил сам Сэндэдж⁵, «главный вывод состоит в том, что нет осно-

¹ Напомним, что космологический член был первоначально введен Эйнштейном для цели, необходимость достижения которой в настоящее время ослабла, а именно для построения статической

² M. L. Humason, N. U. Mayall and A. K. Sandage, «Astronomical Journal», 61, 1956, 97.

³ W. A. Baum, «Astronomical Journal», 62, 1957, 6.

⁴ E. M. Burbidge, F. R. Burbidge, W. A. Fowler and F. Hoyle, «Rev. Mod. Phys.», 29, 1957, 547.

⁵ A. R. Sandage, «Astrophysical Journal», 127, 1958, 525.

ваний для отказа от взрывающихся моделей мира *m* \ основании только данных о несовершенстве масштаба времени», поскольку позднейшие определения постоянной Хаббла лежат в пределах нужных значений.

5. СУЩЕСТВОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Концепция относительности одновременности;¹ на которой в 1905 году Эйнштейн основал свою специальную теорию относительности, на первый взгляд как бы устраняет из физики любое представление об объективном всемирном течении времени, согласно которому физическая реальность могла бы рассматриваться как линейное следование временных состояний или слоев. В противоположность этому каждый наблюдатель рассматривался как имеющий свою собственную последовательность временных состояний, и ни один из них не может заявить о том, что он располагает прерогативой представлять объективный ход времени. Тем не менее четверть века спустя теоретики-космологи, которые использовали физические идеи и математический аппарат, связанные с теорией относительности, оказались, как мы видели, вынужденными вновь вводить те самые концепции, с отбрасывания которых начал Эйнштейн.

Отмечая это запутанное положение вещей в своей лекции, посвященной Хэлли Стюарту, в 1935 году Джемс Джинс¹ указал, что до 1905 года и ученый, и профан рассматривали последовательность событий с течением времени как нечто аналогичное тому, как «на ткацком станке создается ковровый узор». Теория Эйнштейна показала нам, однако, что нет абсолютного различия между прошлым, настоящим и будущим.

Таким образом, простейшей точкой зрения является следующая: ковер уже выткан, а мы понемногу с ним знакомимся. В этой «клочковатой вселенной» человеческое сознание низводится до роли регистрирующего прибора. Однако позднее времени было возвращено

реальное объективное существование в астрономическом масштабе. Реабилитация этой традиционной концепции началась с работы де Ситтера 1917 года, так как при построении своей модели мира он постулировал наличие симметрии между пространством и временем и пришел в результате к выводу, что вселенная должна быть полностью лишена материи. Все более поздние решения космологической проблемы, в которых плотность материи предполагалась отличной от нуля, четко различали пространство и время. Поэтому это различие стало очевидно еще раз после того, как мы отказались от локальной физики и призвали себе на помощь астрономию вселенной.

С космологической точки зрения, принятой Джинсом, поэтому должно быть видно, что ни эквивалентность всех наблюдателей, находящихся в состоянии равномерного прямолинейного движения (специальная теория относительности), ни эквивалентность всех наблюдателей, находящихся в состоянии любого относительного движения (общая теория относительности), не могут быть приняты без оговорок. Пространство-время специальной теории относительности является абстрактным понятием, строго применимым лишь при отсутствии полей тяготения, то есть когда фон вселенной может рассматриваться как фактически пустой. Аналогично эквивалентность всех систем отсчета в общей теории относительности совместима с пустым фоном, как молчаливо предполагается в локальных задачах тяготения. Но когда важнейшей чертой исследуемой проблемы становится существование распределения материи в мире, пусть крайне малой средней плотности, нужно особо выделять некоторые системы отсчета и некоторых наблюдателей, а именно тех, которые движутся со средней скоростью перемещения окружающей их материи¹. В тех космологических моделях, которые мы рассматривали и которые упоминал Джинс, локальные времена всех этих «привилегированных» наблюдателей сливаются в одно мировое время. Следует ли из этого, что,

¹ Это не означает, что мы не можем при построении модели мира постулировать локально приближенную справедливость специальной теории относительности (при отсутствии значительных локальных полей тяготения). Наоборот, мы фактически уже привлекали постулат,

¹ J. H. Jeans, Man and the Universe, в сборнике: «Scientific Progress», London, 1936, p. 19.

несмотря на успехи теории относительности в локальном масштабе, мы должны возвратиться к традиционному представлению об объективном универсальном времени космического масштаба?

Как это ни странно, но до 1949 года ни один из последователей Эйнштейна не принял вызова, брошенного Джинсом, то есть пока специалист по обоснованию математики Курт Гёдель¹ не создал новую остроумную модель мира нового типа, подчиняющуюся законам общей теории относительности. Гёдель согласился с тем, что принятие постулата об относительности, а именно что все наблюдатели эквивалентны, когда речь идет о формулировке законов движения, а также взаимодействия материи и поля, не устраняет возможности того, что конкретное распределение материи, движения и поля в действительном мире для одних наблюдателей может явиться более «естественной» или «более простой» точкой зрения, чем для других. Но в отличие от Джинса он не считал, что совокупность локальных времен, связанных с таким классом привилегированных наблюдателей, должна автоматически составлять универсальное время.

Гёдель утверждает, что, поскольку определение космического времени зависит от определения среднего движения материи в каждой области вселенной, мы можем получить лишь приближение к этой концепции. «Несомненно, — пишет он, — что можно так усовершенствовать процедуру, чтобы получить точное определение, но это можно сделать лишь, по-видимому, путем введения более или менее произвольных элементов, например размера областей или весовой функции, используемой при вычислении среднего движения материи. Сомнительно, что существует точное определение, имеющее столь большие достоинства, которые явились бы достаточным основанием для рассмотрения полученного таким образом времени как истинного времени»². Ответ на эту критику заключается в том, что подобного рода возражения можно было бы сформулировать и в адрес концепции инерциальной системы отсчета. Практически мы не имеем *абсолютного* определения этой концепции.

¹ K. Gödel, «Rev. Mod. Phys.», 27, 1949, 447.

² K. Gödel, в сборнике: Albert Einstein: Philosopher-Scientist (ed. P. A. Schupp), Evanston, 1949, p. 560.

Тем не менее это не означает, что она в конце концов не имеет физического смысла. Аналогично практическая трудность определения космического времени как раз заключается в отсутствии убедительного аргумента против его физической реальности.

Основной аргумент Гёделя основан на построении им моделей мира, в которых локальные времена привилегированных наблюдателей, следующие за средним движением материи, расположенной по соседству от них, не могут быть увязаны в одно мировое время. Существование такого времени в случае предыдущих моделей мира связано с тем, что в этих моделях везде существует система трехмерных пространств, ортогональных к мировым линиям материи. Гёдель указал, что несуществование такой системы должно быть эквивалентно общему вращению агрегата материи, то есть всей совокупности галактик по отношению к сопутствующей инерциальной системе.

Пространство-время конкретной модели, рассмотренной Гёделем, имеет метрику вида

$$= a \quad - dx^2 + \quad - dz^* + \quad , \quad (23)$$

и можно показать, что полевые уравнения Эйнштейна с отличной от нуля космологической постоянной L удовлетворяются, если

$$(24)$$

где G — гравитационная постоянная, ρ — равномерная средняя плотность материи, а скорость света принята равной единице. Эта модель мира аналогична вселенной Эйнштейна, поскольку они обе статичны и пространственно однородны, так как *пространство-время*, заданное формулой (23), однородно в том смысле, что если в нем заданы две любые точки P и Q , то имеется преобразование, переводящее это пространство-время в самое себя, переводящее P в Q ; но оно отличается от вселенной Эйнштейна потому, что зависит от *отрицательной* космологической постоянной, а также потому, что оно не изотропно вследствие наличия абсолютного вращения материи, заданного формулой $U(4\omega\rho)$. Более того, в этой модели невозможно определить абсолютное мировое время.

Хотя существование универсального вращения материи должно рассматриваться с крайне релятивистской точки зрения как в принципе не более порочное, чем существование космического времени, наиболее удивительная черта модели Гёделя касается ее временных свойств. Поскольку, хотя мировая линия каждой фундаментальной частицы является открытой так, что ни одна эпоха не может повторно проявиться в опыте наблюдателя, привязанного к такой частице, могут существовать другие времени-подобные замкнутые кривые. В частности, если P и Q являются любыми двумя точками (мгновениями) на мировой линии фундаментальной частицы и если P предшествует на этой линии Q , то существует времени-подобная линия¹, соединяющая P и Q , на которой Q предшествует P . Таким образом, в этой модели теоретически возможно путешествовать в любую область прошедшего или будущего и обратно и совершать, следовательно, замкнутые путешествия во времени, аналогичные замкнутым путешествиям в пространстве, с которыми мы все знакомы!

Эта возможность была рассмотрена Г. Д. Уэллсом в его известном романе «Машина времени», но, как указал Гёдель, она может привести к абсурду, так как в принципе эта возможность должна означать, что мы могли бы путешествовать в наше собственное прошлое и делать для себя то, что мы благодаря своей памяти должны были бы помнить, хотя оно с нами никогда не случалось! - Тем не менее это возражение против мировой модели Уэллса, хотя оно логически не является

¹ Соответствующим преобразованием координат метрика модели Гёделя может быть представлена в виде:

$$ds^2 = 4a^2 \{ dt^2 - dr^2 - dy^2 + (\sin h^* r - \sin AV) d\phi^2 - 2V \sin h^* r d\phi dt \}.$$

Если $R > \log(1 + 1^2)$, так что $\sin h^* R - \sin AV > 0$, окружность $r = R$, $y = 0 = t$ везде является времени-подобной ($ds^2 > 0$). Следовательно, так как а достаточно мало, пространственно-временное геометрическое место $r = R$, $y = 0$, $t = -a\Phi$, выходящее из начальной точки Q (соответствующее $\Phi = 0$) и приходящее в конечную точку P (соответствующую $\Phi = 2\pi$), также является времени-подобным. Эти точки расположены на линии t , определенной $r = R$, $t/r = 0 = \langle r, a \rangle$ P предшествует Q на этой линии, если $a > 0$

опровержимым¹, не рассматривалось Гёделем как решающий аргумент в пользу отказа от нее, поскольку он вычислил, что скорость, необходимая для совершения такого путешествия, должна быть по крайней мере равна $1/\sqrt{1 - a^2}$ доле от скорости света, а это, по его, видимо, преждевременному мнению, «весьма далеко от всего того, от чего мы когда-либо можем ожидать практической осуществимости»².

Поэтому Гёдель пришел к заключению о необходимости принимать всерьез возможность того, что действительная вселенная по своим временным характеристикам сходна с моделью Уэллса. Ибо, несмотря на то что рассматривавшаяся им первоначально модель оказалась неподходящей, подобно тому как вселенная Эйнштейна оказалась не в состоянии объяснить внегалактические красные смещения, на этих же самых принципах могли быть построены расширяющиеся вращающиеся системы; а в них также было бы естественным ожидать возможность отсутствия мирового времени (на языке которого *последовательные переживания любого наблюдателя никогда не должны были быть одновременными*)³.

В высшей степени оригинальная работа Гёделя сразу была тепло встречена Эйнштейном как важный вклад в общую теорию относительности, в анализ понятия времени. С другой стороны, на конференции по теории относительности, состоявшейся в Берне в 1955 году, Г. П. Робертсон утверждал, что если бы уравнения поля общей теории относительности допускали решения космологической проблемы, означавшие, что вся вселенная имеет внутренне ей присущее абсолютное вращение, то они должны были бы содержать дефект, но он предположил, что, видимо, нельзя найти аргумент, с помощью которого эти решения можно было бы исключить априори. Тем не менее возможность описания в этих моделях замкнутых временных траекторий, видимо, является серьезным возражением, несмотря на веру Гё-

¹ Интересно отметить, что в романе Уэллса Путешественник во времени возвращается из своих поездок в будущее, но не из своих поездок в прошлое!

² K. Godel, op. cit., p. 561.

³ Там же, стр. 562.

деля в то, что их осуществление, по всей вероятности, всегда будет вне пределов возможности наших ракетостроителей, ибо теоретическое возражение против возможности их существования этим аргументом не устраняется.

Если мы признаем, что модели мира, вращающиеся относительно сопутствующей инерциальной системы, приводят к неприемлемым теоретическим возможностям относительно временных соотношений, и отбросим кинематические модели Милна на основе того, что они противоречат нашим гипотезам о существовании единственной естественной шкалы времени, мы неизбежно вернемся к моделям мира, которые зависят от концепции космического времени¹.

6. ПРЕДЕЛЫ КОСМИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Теперь мы должны рассмотреть важное возможное ограничение понятия космического времени, о котором ранее не подозревали и предвестником которого было любопытное свойство модели мира де Ситтера, обнаруженное им при первом ее исследовании в 1917 году.

Де Ситтер так выбрал систему координат, что эта модель оказалась статической, а ее метрика — заданной соотношением (11), а именно

$$\sin$$

в котором через R мы обозначим $U(3/L)$. Отметим, что для часов, например для внутриатомной колебательной системы, покоящейся в некоторой точке (z, θ, φ постоянны)

$$c(ds^2 = (1 - \gamma^2/c^2) dt^2) \quad (25)$$

Поскольку ds представляет собственное время, а dt — соответствующий временной интервал относительно A (наблюдатель находится в начале координат $m = 0$), мы видим, что кажущаяся длительность относительно этого наблюдателя временного интервала между любыми двумя одновременными событиями, разделен-

¹ Преимуществом этих моделей мира является следующее: они сами определяют компас инерции,

ными расстоянием $z - R$, должна быть неопределенной. Следовательно, в опыте наблюдателя A имеется горизонт, на котором течение времени как бы останавливается так же, как во время чаепития Полоумного Хеттера на часах всегда шесть часов. Этот горизонт (по аналогии со скольжением Солнца по «горизонту в течение полярного дня») времени, однако, является лишь кажущимся явлением, как радуга, а поток времени, ощущаемый любым наблюдателем на этом горизонте, будет тем же, что и для наблюдателя A . Но время, необходимое для света или, наконец, для любого электромагнитного сигнала, для прохождения от этого наблюдателя до A , будет бесконечным, поскольку интеграл

$$\int_R dr$$

как это можно получить из приравнивания $ds = 0$, расходится.

В первоначальную форму метрики космическое время не входило, но сейчас мы прекрасно понимаем, что самая подходящая метрика для вселенной де Ситтера, скорее, задается выражением (14), чем выражением (11), так что эта модель мира может в лучшем случае рассматриваться как предельная форма расширяющейся вселенной. Та же самая метрика (14) характеризует и однородные модели мира в устойчивом состоянии, которые зависят от непрерывного творения вещества. В эти модели¹ входят понятия космического времени, но в них также используется представление о кажущемся горизонте времени при описании вселенной любым наблюдателем, связанным с фундаментальной частицей.

Хотя это любопытное свойство времени во вселенной де Ситтера было известно уже много лет, интерес к нему возрос после 1948 года, когда впервые была высказана мысль о возможности непустой вселенной с метрикой де Ситтера. Спор о свойствах временного горизонта в такой

¹ Модель Бонди — Голда не связана с общей теорией относительности, а модель Хойла выводится из полевых уравнений этой теории, к которым добавлен новый член, связанный с постоянной скоростью творения вещества.

системе¹ обнаружил удивительную бедность аргументации среди теоретиков-космологов по вопросу об определении этого понятия. По моему предложению, мой ученик У. Риндлер² подробно рассмотрел этот вопрос; он не ограничился в своем исследовании моделями мира с пространством-временем де Ситтера, а рассмотрел все модели, основанные на метрике Робертсона — Уокера (16).

Полностью эта метрика может быть записана в виде

где t обозначает космическое время, r — сопутствующую радиальную координату, θ и φ — углы, измеренные в любой фундаментальной частице $z = 0$, $R(t)$ — коэффициент расширения, k — показатель кривизны 0, 1 или -1 , а c — локальная скорость света. Фундаментальные частицы заданы постоянными значениями (z, θ, φ) , а z может принимать все значения, за исключением случая $k = -1$, когда мы предполагаем, что $z < 2$, и случая $k = 1$ (случая замкнутой вселенной с конечным пространственным сечением при $\dot{R} = \text{const}$), когда каждая частица на линии зрения соответствует бесконечному множеству значений z .

Удобно ввести вспомогательную переменную

$$r = R(t) \int \frac{dr}{R(t)} \quad (27)$$

как иную сопутствующую радиальную координату. Собственное расстояние в момент космического времени t между началом пространственных координат и фундаментальной частицей, имеющей координату $z = z$, задается выражением

так что уравнение движения этой частицы может быть записано в виде

¹ G. J. Whitrow et al., «Observatory», 73, 1953, 205; 74, 1954, 36, 37, 172, 173.

² W. Rindler, «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 116, 1956, 662—677.

Уравнение движения фотона, излученного по направлению к Л в момент времени t_0 этой фундаментальной частицей, задается выражением

$$\int_{t_0}^t \frac{dt}{R(t)} = \int_{r_0}^r \frac{dr}{R(t)} \quad (28)$$

Следует делать различие между двумя понятиями мирового горизонта:

(1) *горизонт событий*, который для заданного фундаментального наблюдателя A представляет собой гиперповерхность в пространстве-времени, разделяющую все события на (а) те, которые наблюдались, наблюдаются или будут наблюдаться A , и на (б) те, которые не доступны наблюдению A ;

(2) *горизонт частиц*, который для данного фундаментального наблюдателя A и космического времени t_0 является поверхностью в пространстве моментов времени $t \ll t_0$, разделяющей все фундаментальные частицы на (а) те, которые уже наблюдались A в момент времени t_0 , и на (б) те, которые уже не могут наблюдаться к этому моменту времени.

Примером первого типа является случай вселенной де Ситтера, а последним — случай вселенной Эйнштейна — де Ситтера. Некоторые модели мира, например модель Леметра, имеют горизонты обоих типов, а некоторые, например модель Милна, не имеют ни одного горизонта. С целью облегчить создание наглядного представления об этих двух типах горизонтов мы можем изобразить вселенную в виде расширяющегося шарика².

Фундаментальные частицы можно изобразить в виде больших пятен, равномерно нанесенных на материал шарика. Фотоны можно изобразить в виде маленьких точек, движущихся по поверхности шарика по большим кругам с постоянной скоростью относительно материала шарика. Горизонт событий будет существовать для A и аналогично для всех других фундаментальных

¹ Под «наблюдением» мы везде понимаем «наблюдение с помощью идеального прибора неограниченной чувствительности».

² Эта аналогия подразумевает замкнутость вселенной, но для открытой вселенной можно построить аналогичное представление. Строго говоря, следует рассматривать только *поверхность* шарика.

наблюдателей в тех моделях, скорость расширения которых есть и остается достаточно большой для некоторых малых точек, движущихся к A , но никогда L недостижимых. Как образно выразился Эддингтон, свет в этом случае «подобен бегуну на расширяющейся дорожке, причем финиш удаляется от него быстрее, чем он может бежать»¹. С другой стороны, горизонт частиц будет существовать для A , если, например, шар расширяется из начального состояния, близкого к точке, а начальная скорость маленьких точек изменяется так, что любая данная точка из них может достичь L за конечный интервал времени. Ни одна из них не достигнет- L , если скорость расширения не станет меньше начального значения их скорости, а некоторые никогда не достигнут A , если скорость расширения после первоначального уменьшения начнет опять достаточно быстро повышаться. Это имеет место в модели, обладающей горизонтами обоих типов, например во вселенной Леметра, которая сначала резко взрывается, а затем медленно проходит через состояние неустойчивого равновесия (вселенная Эйнштейна), а затем расширяется со все возрастающей скоростью.

Необходимым и достаточным условием существования в данной модели мира горизонта событий является сходимости интеграла

$$\int_{t_0}^{\infty} \frac{dt}{R(t)}$$

так как в любой данный момент t_0 космического времени фотон, излученный по направлению к L фундаментальной частицей

$$\int_{t_0}^{\infty} \frac{c dt}{R(t)}$$

достигает $A(I = 0)$, лишь если t имеет бесконечное значение, что ясно вытекает из соотношения (28). Фотоны, излученные в момент t_0 из фундаментальных частиц, соответствующих значениям $a > a_0$, никогда не смогут достичь L , поскольку / никогда не будет равно нулю,

¹ A. S. E d d i n g t o n, The Expanding Universe, Cambridge, 1933, p. 73.

а фотоны, излученные из фундаментальных частиц с $a < a_0$, достигнут L через конечный отрезок времени. Горизонт событий, когда он существует, является движущимся фронтом сферической световой волны^{*}, при[^] чем его собственное расстояние от L в момент времени t задается выражением

$$-R(t) = \frac{c dt}{f} \quad (29)$$

События, расположенные вне этого горизонта, навсегда недоступны для наблюдения A .

Из соотношения (28) следует, что фотоны, излученные в момент времени t из данной частицы P , r которой равно r_t достигнут A в момент времени h , заданный уравнением

Если для заданного z и некоторого $t = t_0$ уравнение (30) имеет решение для t , то мы увидим, что для одного и того же r_t и для любого $t > t_0$ оно всегда имеет некоторое решение для t . Таким образом, в любой момент времени, более поздний, чем t_0 , из P в A придет сигнал. При стремлении t к бесконечности t будет стремиться к предельному значению, являющемуся собственным временем, в которое P пересекает горизонт A . Хотя, строго говоря, никакая частица не может скрыться от наблюдения, ее история, зафиксированная L , становится все более и более удаленной, причем событие, состоящее в пересечении ею горизонта, наблюдается A только в его бесконечном будущем. Следовательно, это событие в P и все последующие события в P никогда не будут наблюдаться² L .

¹ За исключением случая метрики де Ситтера.

² Все фундаментальные частицы, отличные от A , находящиеся в некоторый момент времени внутри горизонта событий наблюдателя A (если этот горизонт существует), должны в конечном счете пройти в своих собственных историях вне его. Тем не менее, с точки зрения A , если фундаментальная частица однажды явилась видимой, то она навсегда останется видимой при условии, что A имеет прибор неограниченной чувствительности.

Уже установлено, что метрика де Ситтера удовлетворяет условию существования горизонта событий, поскольку в этом случае

Горизонт событий находится на постоянном расстоянии ca от A . Семейство моделей мира с коэффициентами расширения, пропорциональными t^n , включает как частные случаи вселенную Дирака ($n = 3$), вселенную Эйнштейна — де Ситтера ($n = 2/3$), вселенную Милна ($n = 1$) и расширяющуюся вселенную с постоянным ускорением ($n = 2$). Условие существования горизонта событий для членов этого семейства имеет вид $n > 1$, а когда оно выполняется, то этот горизонт расширяется с постоянной скоростью.

Необходимым и достаточным условием существования в данной модели мира горизонта частиц является сходимость

$$\int_{t_0}^{\infty} dt$$

или в тех случаях, когда определение $R(t)$ простирается до отрицательного бесконечного значения t при сходимости соответствующего интеграла, имеющего в качестве нижнего предела $-\infty$. Так как из уравнения (28) следует, что в любой данный момент времени t_0 все фундаментальные частицы, для которых

$$\int_{t_0}^{\infty} \frac{c}{v} dt$$

еще не наблюдались A , а все другие наблюдались. Следовательно, поверхность (являющаяся сферой в пространстве $r = r_0$), заданная, скажем,

$$r = c a t \quad (31)$$

¹ Нижний предел интеграла относится к тем моделям с сингулярностью (творением), имеющей место в течение конечного промежутка времени, которые считаются существующими в нулевой момент времени.

разделяет все фундаментальные частицы на те, которые могут наблюдаться A в момент времени $t = t_0$ или до него, и на те, которые не могут наблюдаться в этих условиях. Собственное расстояние этого горизонта от A дается выражением

$$(32)$$

нижний предел которого следует заменить на $-\infty$, если модель определена для отрицательного бесконечного значения t .

Поскольку $R(t)$ положительна и конечна, то как следствие этого

$$\int_{t_0}^{\infty} dt$$

является возрастающей функцией t . Следовательно, из (31) мы делаем вывод о том, что с течением времени все больше и больше частиц становится видимым L . Если $\phi(\hat{r})$ сходится при стремлении r к бесконечности, все фундаментальные частицы, для которых

$$\int_{t_0}^{\infty} \frac{c}{v} dt > \int_{t_0}^{\infty} \frac{c}{v} dt$$

полностью находятся вне наблюдательных возможностей A , модель имеет как горизонт событий, так и горизонт частиц. Как и в предыдущем случае, однажды увиденная фундаментальная частица всегда продолжает оставаться видимой.

Из всех моделей с коэффициентом расширения, пропорциональным t^n , лишь те, у которых $n < 1$, обладают горизонтом частиц, в частности он имеется во вселенной Дирака и вселенной де Ситтера. Об этом классе расширяющихся вселенных мы можем поэтому сказать, что вселенные с возрастающей скоростью расширения ($n > 1$) обладают горизонтами событий, а вселенные с убывающей скоростью расширения ($n < 1$) обладают горизонтами частиц. Равномерно расширяющиеся модели ($n = 1$) не имеют ни того, ни другого горизонта.

При формулировке определений горизонта предполагалось, что наблюдатель A остается привязанным к конкретной фундаментальной частице, так что для него самого космическое время существует. Если мы ослабим это ограничение и наблюдатель сможет перемещаться по вселенной с локальной скоростью, меньшей c , то класс наблюдаемых им событий увеличится. Тем не менее если модель обладает и горизонтом событий, и горизонтом частиц, как определялось ранее, то все равно будут существовать события, абсолютно недоступные для наблюдателя A , как бы он ни двигался. Более того, если бы модель обладала горизонтом событий для A до того, как он начал двигаться, то он никогда не смог бы двигаться так, чтобы при этом быть в состоянии наблюдать каждое событие во вселенной. Его горизонт времени изменится, но он никогда не сможет быть полностью устранен.

Таким образом, утверждение Локка, цитировавшееся в начале настоящей главы, о том, что каждая часть пространства находится в каждой части длительности, а каждая часть длительности находится в каждой части протяженности, не может более приниматься без оговорок. Так как, хотя относительность времени является лишь локальным явлением, мы должны считаться с возможностью таких событий во вселенной, сведения о которых никогда, даже в принципе, не могут быть донесены до данного наблюдателя, как бы долго он ни жил, и поэтому оно никогда не сможет стать частью его временных переживаний.

VI. Природа времени

1. ОБРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ И АСИММЕТРИЯ ВРЕМЕНИ

Мы видели, что в моделях мира с горизонтом частиц в поле зрения наблюдателя, связанного с любой заданной фундаментальной частицей, неожиданно возникают фундаментальные частицы. С другой стороны, мы не встречали обратного явления — внезапного исчезновения частиц из поля зрения, даже в случае моделей с горизонтом событий. Можно предположить, что эта асимметрия каким-то образом связана с расширением вселенной. Рассматривая эффект обращения времени для этих моделей, сразу же можно видеть, что это неверно.

С каждой из этих моделей мы можем сопоставить парную модель путем замены t на $-t$. Таким образом, модели с масштабной функцией $K(t)$, определенной во всей области $-\infty < t < \infty$ и обладающей горизонтом событий, заданным соотношением (29) главы V, а именно

$$\int_{-\infty}^{\infty} c dt = R(t)'$$

соответствует парная модель с масштабной функцией $R(-t)$, которая, если сравнить ее с уравнением (32) главы V, имеет *горизонт частиц*, заданный в виде

Поскольку (2) также получается в результате простой замены t на $-t$ в (1), мы делаем вывод о том, что *при обращении времени модель с горизонтом событий*

преобразуется в модель с горизонтом частиц, и наоборот.

Строго говоря, мы рассмотрели лишь случай, когда модель не имеет конечного начала отсчета времени. Если модель имеет такое начало, при обращении времени эта начальная временная особенность (творение мира) преобразуется в конечную временную особенность (уничтожение мира). Горизонт частиц преобразуется в горизонт событий в том смысле, что события, происходящие вне его, не будут наблюдаться в течение конечного отрезка времени, который остался наблюдателю до уничтожения.

Удивительное следствие этого анализа состоит в том, что обращение времени *не может* привести к исчезновению частиц из поля зрения в течение действительного конечного опыта наблюдателя. Временная асимметрия, заключающаяся в отсутствии этой возможности, не может поэтому зависеть от характера изменения шкалы вселенной со временем, так как при обращении времени расширение превращается в сжатие. Дело обстоит совсем не так: эта асимметрия зависит от того, что предполагаемое обращение времени не оказывает влияния на первоначальное условие, заключающееся в том, что внимание наблюдателя во всех случаях устремлено только на *приходящий* свет.

Как мы указали ранее (см. стр. 16), с распространением света связана не только временная асимметрия, так как, хотя могут существовать и существуют сферические световые волны, распространяющиеся вовне равномерно по всем направлениям, мы никогда не сталкиваемся с явлением сходимости сферических волн в замкнутом объеме изотропно в некоторую точку, где они гаснут. Более того, как уже упоминалось, эта особенность нашего опыта не ограничена поведением света, а справедлива и для явлений других типов, например для волн на воде, порожденных возмущением водной поверхности в определенном месте. На основе этого факта Поппер утверждает, и, я полагаю, убедительно, что причинными могут считаться только такие условия, которые могут быть организованы из одного центра¹. Сходящаяся волна должна иметь характер физического

чуда, если она не управляется сигналом, посылаемым из центра сходимости. Иными словами, она должна походить на заговор, в который вовлечено много людей, каждый из которых всячески содействует деятельности других, но ничего вроде заранее подготовленного плана они не имеют.

Конечно, часто делались попытки описания мира, в котором время «идет назад», то есть мира, который должен быть отражением во времени нашей действительной вселенной так же, как в зеркале левая рука представлена пространственным отражением правой руки. Философ Брэдли утверждал, что в таком мире, то есть для существ, чья жизнь течет в противоположном направлении по сравнению с нашей, «смерть должна наступать раньше рождения, удар должен следовать после раны, и все должно выглядеть иррационально»¹. Как и в зеркальном мире Льюиса Кэррола, наказание должно предшествовать суду, а преступление должно совершаться в последнюю очередь. Однако в последнее время Смарт оспорил подобную точку зрения². Он утверждает, что если бы все процессы в мире были обращены, то вместо памяти мы обладали бы способностью познавать будущее, подобно Белой Королеве Льюиса Кэррола, которая лучше всего «помнила» события, происшедшие на следующей неделе! Но поскольку все события должны были теперь представляться совершающимися в обратном порядке, то в этом не было бы ничего странного. Действительно, все могло бы быть обращено во времени, и этот иной мир был бы и представлялся бы таким, какой он есть в действительности. Из этого он делает вывод о том, что «временная асимметрия обусловлена не свойствами самого времени (которые являются чисто формальными), а обусловлена асимметрией того содержимого, которое находится в мире».

Но как бы мы ни симпатизировали точке зрения Смarta, заключающейся в том, что не следует рассматривать время как конкретную вещь (реифицировать время) и что, строго говоря, ошибочно говорить о нем как «текущем» в определенном направлении, его подход к обращению времени следует рассматривать либо как

¹ К- R- Поппер, «Nature», 181, 1958, 402.

¹ F. H. Bradley, Appearance and Reality (2nd. ed. revised), London, 1902, p. 215.

² J. J. C. Smart, «Analysis», 14, 1954, 79.

ошибочный, либо в лучшем случае как тривиальный, поскольку он производит двойное обращение, а именно всех событий *и* нашего ощущения раньше-позже. Но такое двойное обращение, конечно, должно оставить все на своих местах, и вряд ли необходимо обосновывать этот вывод подробными рассуждениями! Ошибка Смарта состоит в предположении о необходимости замены памяти в мире с обращенным временем на способность познавать вперед. Наоборот, существу, для которого события на Земле совершались бы в обратном порядке по сравнению с нашими событиями, те события, в наличии которых он уже убедился, еще приписывались бы им *прошлом*, так что для него «удар *должен* следовать за раной», так же как во время войны звук приближающейся сверхзвуковой ракеты был слышен после ее взрыва от удара. Поэтому, каковы бы ни были законы природы, направление времени в нашем личном опыте является направлением увеличения знаний о событиях. События, сведениями о реальном совершении которых мы располагаем, находятся в прошлом, а не в будущем. Мир, в котором события происходят в обратном порядке по отношению к ходу событий в нашем мире, представить можно, но обращение нашего ощущения раньше-позже должно подразумевать такое состояние ума, в котором мы начинаем с максимума информации о происходящих событиях, а кончаем минимумом, что является внутренне противоречивым предположением. Это следует из того, что, как показывает опыт, мы не узнаем сразу обо всем и что порядок нашего индивидуального времени является порядком нарастания нашей осведомленности, то есть роста нашей информации о том, что происходит. По определению, любое событие, которое оставляет «след» о своем совершении, находится в прошлом. Поэтому *не* является побочным фактом, а просто следует из этого определения утверждение о том, что не существует аналога следа в будущем.

2. ПРИЧИННАЯ ТЕОРИЯ ВРЕМЕНИ

Одним из следствий обращения нашего ощущения раньше-позже должна явиться перемена мест причин и действий. На самом деле действующие причины долж-

ны казаться превратившимися в целевые причины, что окажет серьезное влияние на научное исследование. Например, вместо того чтобы камень падал на Землю вследствие того, что я разжал руку, камень должен взлететь вверх, для того чтобы я его схватил. Независимо от того, согласны мы или не согласны с общепринятой современной точкой зрения (отличной от аристотелевской доктрины телеологического объяснения), заключающейся в том, что физический мир доступен для исследования только благодаря изучению «действующих причин», мы все прекрасно сознаем наличие тесной связи между последовательностью времени и причинными процессами.

Идею о наличии этой связи разработал Юм, пытавшийся свести причинный порядок к временному порядку. Согласно его точке зрения, единственным возможным признаком причины и действия является их «постоянный союз», неизменное следование одного после другого. К сожалению, этот признак не является ни необходимым, ни достаточным. Мы можем в одной комнате повесить двое часов с боем и всегда слышать, что одни часы будут бить раньше других; но это не обязательно означает, что между ними имеется какая-либо причинная связь. Поэтому условие Юма не является достаточным. Покажем, что это условие не является необходимым; рассмотрим для этого смерть Эсхила, который был, по преданию, убит черепахой, упавшей на его лысую голову с неба, потому что ее выпустил из когтей пролетавший над Эхилом орел. Хотя в этом событии участвует неизменный закон природы (закон всемирного тяготения), это необычное событие существенно зависело от своеобразного «начального условия», а именно от того, что орел выпустил черепаху в определенный момент, в определенном месте, в результате чего судьба Эсхила оказалась столь уникальной и неповторимой. Или, например, рассмотрим разрушение Помпеи и Геркуланума. Вряд ли можно сомневаться в том, что оно было обусловлено извержением Везувия в августе 79 года просто потому, что это конкретное стечение событий неповторимо. Следовательно, мы не можем принять критерий Юма в качестве необходимого условия причинности.

Эти примеры относятся к уникальным историческим событиям. Но, с другой стороны, можно аргументировать тем, что в естественных науках мы занимаемся повторяющимися последовательностями событий. Предполагается, что если в разные моменты времени в различных местах эксперименты повторяются *в одних и тех же условиях*, то будет получен один и тот же результат. Так понимают содержание «принципа причинности». Однако Филипп Франк¹ показал, что этот методологический принцип, строго говоря, работает только как условное определение. Поскольку не ясно, на каком основании мы можем быть уверены в том, что рассматриваемый эксперимент был повторен точно при «тех же самых условиях», Франк утверждает, что не существует точного метода доказательства тождественности условий, за исключением установления тождественности результатов эксперимента. Следовательно, закон причинности является просто правилом определения того, что мы подразумеваем под выражением «при тех же самых условиях».

Вместо того чтобы попытаться свести причинный порядок к следованию во времени, Плэтт² предположил, что наше интуитивное понимание причины и действия нужно проанализировать с точки зрения биологического процесса стимула и реакции. Рассматривая этот процесс, он обращает внимание на жизненно важную *усиления*. Например, в сетчатке энергия попадающего на нее светового сигнала может быть увеличена в тысячи раз, для того чтобы вызвать единичную нервную реакцию, приводящую в действие некоторое биологическое реле, а после этого она может быть увеличена еще в тысячи раз и проявиться в виде энергии моторной реакции. Из-за этого усиления направление связи стимула и реакции необратимо. Причина и действие асимметричны во времени так же, как и наши усилители ощущений, которые не могут излучать свою входную мощность, и наши моторные усилители, которые не могут ответить на свою выходную мощность. Необратимость нашего сознания точно такова, как и необратимость наших уси-

¹ Ph. Frank, *Modern Science and its Philosophy*, Cambridge (Mass.), 1949, p. 53—60.

* J. R. P l a II, «*American Scientist*», 44, 1956, 183.

лителей, и Плэтт делает вывод о том, что «возможно, что это мы и понимаем под направлением времени». Таким образом, он, будучи далек от сведения причинности ко времени, переворачивает проблему.

Идея сведения временного порядка к причинному порядку, часто называемая *причинной теорией времени*, первоначально была предложена Лейбницем¹, но подробно была впервые разработана Кантом. Последний указал, что мы обнаруживаем временной порядок, исследуя причинный порядок, который отличен от перцепторного порядка. Так, например, в случае звука выстрела удаленного от нас орудия и звука разорвавшегося поблизости от нас снаряда мы выводим временной порядок из причинного порядка, а не из порядка восприятия нами этих событий. Но, обосновывая свое утверждение о том, что суждение об объективной последовательности событий возможно только лишь с помощью причинного суждения и, следовательно, необратимость времени составляет из необратимости причинной последовательности, Кант столкнулся с трудностью, состоящей в том, что наиболее эффективные естественные причины кажутся имеющими место одновременно со своими действиями. Поэтому он пытался утверждать, что мы должны считать не с *течением* времени, а с «порядком» времени. «Время между причинностью причины и непосредственным действием ее может быть *бесконечно малым* (так что они сосуществуют), но отношение между причиной и действием все же остается определенным по времени. Если шар, положенный на набитую подушку, выдавливает в ней ямку, то как причина этот шар сосуществует со своим действием. Однако я различаю их по отношению во времени диалектической связи между ними. В самом деле, если я кладу шар на подушку, то на гладкой прежде поверхности появляется ямка; наоборот, если на подушке (неизвестно почему) есть ямка, то отсюда еще не следует свинцовый шар»². На это можно возразить, что если причинная связь *является* мгновенной, то мы не можем также рассматривать ее как направленную во *времени*.

¹ G. W. Leibnitz, *Math. Schriften*, Gerhardt, Berlin, 1863, Band VII, S. 18.

² И. Кант, *Критика чистого разума*, СПб., 1907, стр. 152.

Справедливость причинной теории времени была, однако, в значительной степени подкреплена специальной теорией относительности Эйнштейна. Согласно этой теории, временной порядок событий инвариантен (по отношению к преобразованиям Лоренца) для различных наблюдателей тогда и только тогда, когда рассматриваемые события могут быть соединены сигналами, то есть причинными цепями, которые «перемещаются» со скоростями, не превышающими скорость света в пустоте. Лишь когда, видимо, не могут существовать причинные связи (а следовательно, скорость распространения сигнала может превышать скорость света в вакууме), то временное следование двух событий может быть обращено путем выбора наблюдателя, соответствующим образом движущегося². В этом случае два события существенно не определены в смысле установления между ними временного порядка. Как подчеркивал Рейхенбах, этот результат можно использовать для расширения эйнштейновского понятия одновременности³, поскольку мы можем определить *любые* два события, между которыми нельзя установить временного порядка, как одновременные. С этой точки зрения, отличной от точки зрения Канта, *одновременность исключает причинную связь*. Следовательно, классическая идея, согласно которой в каждом месте может быть одно-единственное событие, одновременное по отношению к заданному событию («здесь» и «теперь»), была бы допустима лишь в том случае, если бы не существовало *конечного* верхнего предела скорости причинной связи, что противоречит теории Эйнштейна.

Теория Эйнштейна существенна для нашего понимания времени, поскольку она предполагает, что наблюдатель отдает себе отчет о временной последовательности в своем опыте. Если мы хотим определить временной порядок через причинный порядок, а не ставить его в зависимость только от человеческого сознания, мы не

¹ По причинной теории времени не *необходимо* для этого наличие действительной причинной связи между двумя событиями во временной последовательности. Для этого, скорее, требуется лишь причинная связуемость, а не действительная причинная связанность.

² Формальное доказательство этого результата см на стр. 381—383

³ H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*. New York, 1957, p. 145.

можем определить направление причинности, то есть отличить причину от действия, на языке, который предполагает знание временного направления или осведомленность о нем. Наоборот, мы должны найти некоторый критерий, отличный от временного порядка, для того чтобы провести между ними недвусмысленное различие и избежать сведения одного к другому. Рейхенбах предложил метод, известный под названием «метода меток»: *если EI является причиной E₂, то небольшое изменение (метка) события E₁ связана с малым изменением события E₂, а малые изменения E₂ не обязательно связаны с малыми изменениями события EI*. Так, если мы обозначим звездочкой немного измененное (меченое) событие, то, согласно этому критерию, мы найдем, что возникают лишь комбинации $E \setminus E_1$, $E \setminus E_2$, $E \setminus E^*$, а комбинация $E \setminus E_1$ не возникнет. На основе этой асимметрии Рейхенбах утверждает, что мы можем автоматически вывести отношение порядка для E_1 и E_2 , которое мы можем определить как временное отношение между ними⁴.

На первый взгляд это кажется исключительно хитрым определением. К сожалению, оно содержит скрытую *petitio principii*, поскольку мы должны быть в состоянии различать, можно или нельзя комбинировать ту или иную пару событий (с различными символами). Но если нам заданы лишь *отдельные* события E_1 , E_2 , E^* и EI , каждое из которых, по предположению, может произойти, то как можем мы решить, какие сочетания допустимы, а какие нет? Мы будем вынуждены молчаливо обратиться к временному рассмотрению.

Грюнбаум⁵ предпринял попытку спасти причинную теорию времени, которую он рассматривает лишь как частную или неполную теорию, путем замены метода меток на принцип причинной непрерывности или близкодействия. Он объясняет свое намерение спасти теорию тем, что «тезис астрофизики (космогонии) и биологической теории человеческой эволюции, согласно которому

⁴ H. Reichenbach, *op. cit.*, p. 137.

⁵ A. Grünbaum, *Carnap's Views on the Foundations of Geometry*, в: «The Philosophy of Rudolf Carnap» (ed. P. A. Schilpp), Library of Living Philosophers, New York, 1961.

наличие времени является существенной чертой физического мира независимо от присутствия сознающего аппарата человека», должен быть объяснен на основе законов и свойств, которыми обладает мир независимо от человеческого сознания. Если мы предполагаем наличие понятия направления времени, принцип близкодействия означает, что причинное воздействие не может достичь удаленных точек до тех пор, пока оно не пройдет через точки, расположенные ближе. Грюнбаум переформулировал этот принцип так, что он не содержит представлений, связанных с временем, и нашел, что его можно использовать для определения понятия нахождения между моментами времени; но, поскольку этот переформулированный принцип причинно симметричен, Грюнбаум не может вывести из него направленный характер времени. Отсюда он сделал вывод о том, что причинная теория времени неполна и что она должна быть дополнена какой-то иной теорией.

Однако, на мой взгляд, основная трудность причинной теории состоит в том, что сама сущность времени заключается во временном следовании и поэтому любая теория, которая старается объяснить время, должна в меньшей мере пролить некоторый свет на следующую проблему: почему все не происходит одновременно? Но если существование *последовательных* состояний не предполагается молчаливо, то временное следование из теории получить невозможно. Так, в случае сферической волны, порожденной точечным источником, мы связываем определенное направление времени с последовательностью-положений волны по мере ее распространения вовне. Но если мы лишены чувства следования во времени, мы не сможем отличить случай, когда эти положения волны образуют последовательность во времени (конечная скорость распространения волны), и случай, когда они рассматриваются как одновременные (бесконечная скорость распространения волны). В обоих случаях можно сказать, что источник играет роль «причины», поскольку его существование рассматривается как необходимое условие существования волны, но это причинное истолкование не должно давать нам права делать какие-либо выводы относительно времени, если мы не знаем о его существовании из независимых источников.

3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ВРЕМЕНИ (I)

Австрийский физик Людвиг Больцман предположил, что понятие времени, в частности его направление («стрела времени»), зависит от понятия энтропии, которое он истолковывал статистически.

Первоначально энтропия была определена как функция состояния аналогично потенциальной энергии, причем изменение энтропии равно полученному количеству теплоты, деленному на температуру, при которой тепло получено. Второе начало термодинамики, сформулированное около 1850 года Кельвином и Клаузиусом, утверждает, что энтропия изолированной (или замкнутой) системы никогда не уменьшается: оно является обобщением утверждения о том, что теплота не может переходить от тел, имеющих меньшую температуру, к телам, имеющим большую температуру¹. С точки зрения термодинамики, если рассматривать это начало как ее предмет *sui generis*, оно является универсальным законом, не допускающим исключений. К сожалению, второе начало термодинамики является далеко не понятным законом. Например, как это было отмечено Кирхгофом, энтропия могла бы быть измерена только с помощью обратимых процессов, и поэтому, строго говоря, она не могла бы быть применима к необ-

¹ Если любую физическую систему разделить на две части, энергия может переходить из одной части в другую, но полная энергия системы не может при этом увеличиваться или уменьшаться (*первое начало термодинамики*). Этот внутренний поток энергии будет также сопровождаться потоком энтропии из одной части в другую, но лишь при обратимых процессах полная энтропия системы не изменится. При необратимых процессах должно иметь место увеличение этой *полной* энтропии. В этом, по существу, и заключается *второе начало термодинамики*.

Следует подчеркнуть два следующих пункта:

(1) Факт уменьшения энтропии в живых организмах, растущих кристаллах и т. п. ни в коем случае не противоречит второму началу, поскольку эти объекты теряют энтропию только при взаимодействии с окружающей их средой, а энтропия последней, следовательно, повысится. *In toto* в итоге будет иметь место увеличение энтропии в согласии со вторым началом.

(2) Как об этом подробно говорилось в главе I, ни в каком случае не ясно, почему должен быть прав Клаузиус, который пришел к выводу о том, что энтропия *вселенной в целом*, автоматически стремится к возрастанию, поскольку нет строгого определения этой величины.

ратимым процессам, которые входят в сферу действия этого начала. Серьезная попытка решения этой трудности была предпринята Максом Планком в его докторской диссертации. Он понял, что для выяснения утверждения о том, что процесс теплопроводности не может быть полностью обратимым, существенно иметь надлежащее определение обратимости и необратимости. На его взгляд, было недостаточно определить необратимый процесс как процесс, который не может идти в обратном направлении, поскольку возможно, что, хотя процесс не может идти в обратном направлении, первоначальное состояние системы каким-то образом может быть восстановлено. Поэтому Планк определил необратимый процесс как процесс, который нельзя компенсировать, то есть процесс, для которого невозможно осуществить контрпроцесс, могущий восстановить состояние системы. Следовательно, Планк полагал, что вопрос об обратимости или необратимости зависит только от природы начального и конечного состояний. При необратимых процессах природа «предпочитает» конечное состояние, а энтропия Клаузиуса является мерой этой предпочтительности.

Это истолкование второго начала термодинамики было, по существу, телеологическим и находилось в согласии с планковским истолкованием других фундаментальных законов физики, а именно принципа наименьшего действия в динамике и принципа Ферма наименьшего времени в оптике, как доказательства существования «цели» во вселенной, что тесно связано с причинностью. Многие физики отвергли эту точку зрения. Вариационные (интегральные) принципы в физике, которые рассматривались Планком как формальное выражение некоторых целеустремленных тенденций в природе, фактически выведены из причинных законов (изложенных на языке дифференциальных принципов). Законы обоих типов могут быть превращены из одного типа в другой. Поэтому мы рассматриваем вариационные принципы физики как не обнаруживающие преимущества ни перед причинностью, ни перед целесообразностью¹.

¹ При рассмотрении телеологических утверждений Планка следует иметь в виду два существенных момента:

(1) мы не можем *вывести* существование целенаправленной эко

Больцман, однако, понимал, что эта симметрия причинности и целесообразности *автоматически* исчезает, когда мы рассматриваем явления смешивания или разделения систем, состоящих из *большого числа* частиц или других составных частей. Всем нам* из повседневной жизни знакомо явление, возникающее при налипании сливок в кофе. Через некоторое время в стакане образуется жидкость однородного цвета, и сколь долго мы ни мешали бы кофе после этого, мы никогда не обнаружим перехода содержимого чашки в первоначальное состояние, в котором кофе и сливки были четко разделены. Это состояние может быть названо *упорядоченным*, а состояние, в котором кофе и сливки тщательно перемешаны, *неупорядоченным*. Аналогичная ситуация возникает при тасовке колоды игральных карт. В этом случае количество возможных распределений колоды карт составляет $8 \cdot 10^{67}$, так что, если бы мы делали три различные раскладки в секунду, то для исчерпания всех возможностей нам понадобилось бы около миллиарда миллиардов миллиардов миллиардов лет. С другой стороны, имеется лишь только 48 возможностей распределения карт в одной и той же строгой последовательности от низших карт к высшим или от высших к низшим в каждой масти. Следовательно, если мы начнем с колоды, разложенной по порядку, тасовка превратит ее в неупорядоченную колоду и, вообще говоря, продолжительная тасовка не вернет колоде упорядоченность. Хотя это и будет несколько искусственным, процесс тасовки можно рассматривать как аналог естественного движения молекул в сосуде, содержащем смесь жидкостей и газов, и, если хотите, это движение можно рассматривать как обратимое. Однонаправленный результат его действия, по существу, обусловлен *статистическим* подходом, основанным на рассмотрении неумолимых законов больших чисел. Больцман поэтому попытался переформулировать понятие энтропии (для любой заданной физической системы) на языке теории вероятностей.

номии в природе только из того, что некоторые физические законы могут быть сформулированы как интегральные принципы;

(2) следовательно, мы не можем *опровергнуть* существование цели в мире лишь как следствие (1),

Статистическая механика в том виде, в каком ее разработал Больцман (а также Дж. Уиллард Гиббс), представляет собой механическое истолкование термодинамики. Путем рассмотрения больших совокупностей движущихся частиц (представляющих собой молекулы и т. д.) и установления статистических аналогий термодинамических понятий были получены понятия, необходимые для того, чтобы дополнить понятия классической динамики (материальные частицы и твердые тела, которые сами по себе не имеют теплоты, температуры и энтропии). Таким путем в 1872 году Больцман получил свою известную формулу

$$S = k \log P,$$

где S обозначает энтропию, k — константа, известная в настоящее время под названием «постоянная Больцмана», а P — количество различных «микроскопических» состояний заданной макроскопической системы, то есть состояний, в которых конкретизированы скорости, положения и, согласно современным взглядам, квантовые состояния всех составляющих систему атомов и молекул. Например, если мы рассмотрим два тела (1 и 2), находящихся друг с другом в контакте, так что они могут обмениваться только теплотой, и помещенных в общую изолирующую оболочку, то в каждый момент времени каждое тело будет иметь определенную энергию, скажем E_1 и E_2 . Согласно закону сохранения энергии, $E_1 + E_2$ остается одной и той же величиной для всех моментов времени. Но с E_1 будет связано P_1 микросостояний тела 1, а с E_2 — P_2 микросостояний тела 2, причем P_1 — функция E_1 , а P_2 — функция E_2 . Полное число микросостояний полной системы будет равно $P = P_1 \cdot P_2$, то есть произведению P_1 и P_2 , поскольку каждое микросостояние системы может быть связано с микросостоянием тела 2. Наиболее вероятным распределением является распределение, для которого P максимально; найдено, что оно соответствует выравниванию температур в 1 и 2. Второй закон термодинамики поэтому был истолкован Больцманом как утверждение, согласно которому любая замкнутая или изолированная система (то есть любая система, изолированная относительно

¹ Логарифмическая функция появилась в формуле Больцмана потому, что величина S мультипликативна, а E — аддитивна»

притока энергии извне или утечки энергии наружу) автоматически стремится к равновесному состоянию с максимальной вероятностью, если оно еще не находится в этом состоянии. Более того, Больцман предположил, что это статистическое истолкование второго начала как тенденции к установлению максимума* P автоматически объясняет направленный характер самого времени.

Несмотря на мощь и убедительность этой теории, статистическое объяснение Больцманом понятия времени оказалось не более свободным от парадокса, чем, и предыдущие теории, и вскоре было раскритиковано как логически несостоятельное. Еще в 1876 году Лошмидт сформулировал *парадокс обратимости*¹. Он утверждал, что симметрия законов механики относительно прошлого и будущего должна необходимо повлечь за собой соответствующую обратимость молекулярных процессов, что противоречит закону возрастания энтропии², так как, поскольку вероятность того, что молекула, имеющая заданную скорость, не зависит от знака скорости³, принцип динамической обратимости приводит к следующему результату: каждое состояние движения заданной (изолированной) системы будет соответствовать другому состоянию движения, когда система проходит через состояние, отличающееся от первого обратными направлениями скоростей. Тогда с течением времени процессы разделения происходили бы столь часто, как и процессы смешивания. Следовательно, энтропия системы стремилась бы к уменьшению столь же часто, как и к увеличению и поэтому не могла бы являться основательным признаком для определения направления времени.

Спустя двадцать лет Цермело сформулировал другое возражение, известное как *парадокс периодичности*⁴.

¹ J. Loschmidt, «Wien. Ber.», 73, 1876, I, 128; II, 366.

² Из симметрии законов динамики по отношению к обоим направлениям времени также необходимо следует, что для любого произвольно выбранного неравновесного состояния в момент времени t не только имеет место очень большая вероятность того, что система перейдет в состояние с большей энтропией, но также и очень большая вероятность того, что в это состояние система пришла из состояния с большей энтропией. Следовательно, имеется очень большая вероятность, что в момент времени t система претерпевает флуктуацию от равновесного состояния.

³ Она зависит от квадрата скорости.

⁴ E. Zermelo, «Ann. der Phys.», 57, 1896, 485.

На основе известной теоремы динамики, доказанной Пуанкаре (утверждающей, что при некоторых условиях, касающихся конечности движения системы, начальное состояние системы бесконечно много раз будет возвращаться), Цермело сделал вывод о том, что молекулярные процессы должны быть круговыми.

Некоторый свет на эти трудности был пролит П. и Т. Эренфестами в их известной статье, опубликованной в 1907 году¹. Они указали, что статистическое доказательство Больцманом второго закона термодинамики (его известная Я-теорема) касается лишь *усредненных* изменений энтропии изолированной системы и поэтому не запрещает возможности уменьшения ее значения. Это усреднение было выражением нашего незнания действительной микроскопической ситуации. Спустя пять лет Смолуховский² вычислил, что для флуктуации в воздухе при 300 градусах по Кельвину и плотности $3 \cdot 10^{25}$ молекул в 1 кубическом сантиметре среднее время между последующими флуктуациями на один процент от среднего числа молекул в шаре радиусом 5-10⁻⁵ сантиметров примерно равно 10^{68} секунд, или 3-10⁶⁰ лет. Но если мы уменьшим радиус этого шара в пять раз, до 10⁻⁵ сантиметра, то среднее время между последующими однопроцентными флуктуациями уменьшится до 10⁻⁵ секунд. Этот результат дает основания считать, что микроскопические явления не могут иметь внутренне им присущего направления времени, если последнее обязательно связывать с внутренним увеличением энтропии³.

Эта идея согласуется с теорией обращения времени в физике элементарных частиц, разработанной Э. К. Г.

¹ P. und T. Ehrenfest, «Encykl. d. Math. Wiss.», IV, 2, II, S. 41—51; см. также «Phys. Zeit», 8, 1907, 311.

² M. Smoluchowski, «Wien. Ber.», 124, 1915, 339.

³ Ссылкой на Смолуховского я обязан М. С. Бартлету. Флуктуации очень малых размеров непрерывно совершаются в явлениях броуновского движения. В областях пространства, где происходят эти флуктуации, все часы, направление времени которых связано с увеличением энтропии, должны иногда как бы идти назад, если на них смотреть извне по отношению к этим областям. Поппер (K. R. Popper, «Nature», 181, 1958, 402) утверждает, что это автоматически опровергает статистическую теорию времени, поскольку статистическая механика основана на динамике, в которой, хотя время в принципе и обратимо, все часы обязательно идут в одном и том же направлении.

Штукельбергом¹ и Р. П. Фейнманом². При изучении явлений «столкновения» элементарных частиц нас обычно не интересует точная временная последовательность событий, и для нас проще рассматривать процесс как целое (поскольку, в частности, благодаря очень сложному механизму обмена квантами нельзя четко различить источник и поглотитель). Штукельберг и Фейнман утверждают, что позитрон (античастица противоположного знака заряда по отношению к электрону, но имеющая ту же массу, что и электрон) можно было бы рассматривать как обычный электрон, «движущийся вспять во времени», причем физические эффекты, связанные с этим обращением времени, можно рассматривать как связанные с изменением знака электрического заряда. Это представление было разработано для того, чтобы «объяснить» любопытные явления рождения пар и аннигиляции пар, наблюдаемых на фотографиях, полученных в камере Вильсона: γ -лучи внезапно превращаются в электрон и позитрон; последний обычно вскоре встречается с другим электроном, причем оба они исчезают и оставляют вместо себя новый f -луч, исходящий из точки столкновения. Согласно Фейнману, ситуация, изображенная на рис. 11, при которой две мировые линии электрона и позитрона встречаются и взаимно уничтожаются, можно переистолковать, введя мировую линию только электрона³, который может двигаться вперед и вспять во времени, как это показано на рис. 12.

Экспериментальным основанием этой теории является фотография, изображающая ряд капелек воды. Мы считаем, что они были порождены быстро движущейся частицей, которая сталкивается с более массивной частицей, порождая при этом локальные сгустки водяного пара на своем пути. Движущаяся частица, однако, непосредственно не наблюдается, а ее существование

¹ E. C. G. Stückelberg, «Helv. Phys. Acta», 14, 1941, 588; 15, 1942, 23.

² R. P. Feynman, «Phys. Rev.», 76, 1949, 749.

³ Исходя из того, что основанием для рассмотрения мировой линии как непрерывного целого вместо разбиения ее на части является скорее заряд, а не частица, Фейнман провел следующую аналогию: «Представьте себе, что летчик, летящий низко над дорогой, вдруг видит три дороги, и, лишь когда две из них сходятся и пропадают, он понимает, что внезапно сделал длинный крюк по одной и той же дороге».

логически выводится; она является примером того, что Рейхенбах удачно назвал «интерфеноменом». При обычном описании, как показано на рис. 11, интерфеноменом является просто положительно заряженная частица, движущаяся «вперед» во времени. В описании Фейнмана, изображенном на рис. 12, интерфеноменом является отрицательно заряженная частица, движущаяся «вспять» во времени. Так, согласно Фейнману, столкновения, испытываемые частицей при ее движении между A и C ,

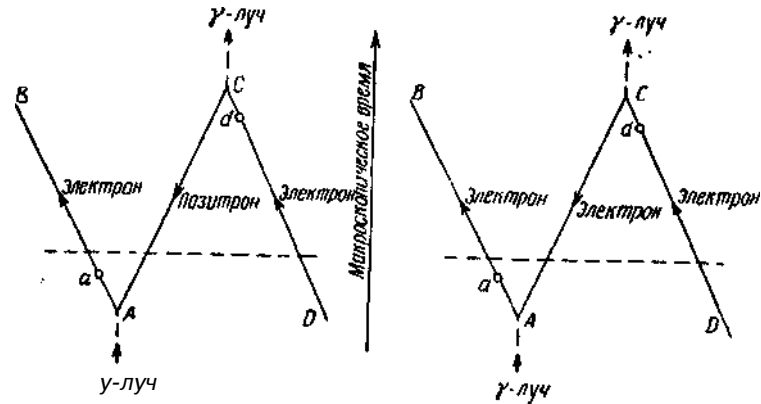


Рис. 11 и 12. На рис. 11 электрон 1 находится слева, а электрон 2 находится справа. Пунктирная линия обозначает одновременное поперечное сечение $t = t_0$.

происходят с точки зрения частицы в обратной последовательности по отношению к той, которую мы рассматриваем, считая их совершающимися в макроскопическом времени. С точки зрения частицы, движущейся вспять, в рождении пары и аннигиляции пары нет ничего аномального, потому что имеется только одна частица, но устранение этих аномалий достигнуто лишь путем введения дальнейшей аномалии: обращения времени.

Это локальное (микроскопическое) обращение времени существенно отличается от космического обращения времени, которое можно промоделировать, если пустить в обратном направлении пленку, на которую засняты процессы, происходящие в мире. Различаются эти обращения потому, что, когда мы решаемся ото-

ждествить позитрон с электроном, движущимся «вспять» во времени, обращается лишь одна цепь, а другие при этом не затрагиваются. Следовательно, изменяются взаимоотношения временного порядка. Так, на рис. 12 событие A причинно находится между C и B , а событие C причинно находится между D и L ; но ни одно из этих утверждений неприменимо к событиям на рис. 11. Как указал Рейхенбах¹, истолкование Фейнмана открывает возможность существования замкнутых причинных цепей. Например, если мы рассмотрим случай, когда, согласно обычному истолкованию, электрон в ходе события a испытывает столкновение, сопровождаемое излучением фотона, который движется быстрее, чем позитрон, и сталкивается с электроном 2 в ходе события d . Когда мы вводим истолкование Фейнмана, световой луч ad не будет обращен. Следовательно, последовательность событий $dCAad$ образует теперь замкнутую причинную цепь, то есть замкнутый цикл во времени. Рейхенбах замечает, что, хотя такие процессы еще не наблюдались и представляются «довольно невероятными», тем не менее «их возможность отрицать нельзя». Согласно его точке зрения, замкнутая причинная линия *на субатомном уровне* не находится в противоречии с нашим обычным представлением о причинности, потому что он рассматривает последнюю как существенно макроскопическое понятие.

Тем не менее отождествление позитрона с электроном в «отрицательном» времени находится в противоречии с нашим обыденным понятием генетического тождества, так как, хотя мы считаем, что одна и та же вещь может находиться в одном и том же месте в различные моменты времени, нам трудно представить, что она может быть в один и тот же момент времени в двух различных местах. Из квантовой статистики мы знаем, что, например, фотоны одинаковой частоты неразличимы, поэтому от понятия генетической тождественности необходимо отказаться. Тем не менее правило, говорящее о том, что с одной и той же частицей

¹Г. Рейхенбах, Направление времени, Издательство иностранной литературы, 1962, стр. 353.

не могут быть связаны два *одновременных* состояния, остается в силе. Но если мы примем истолкование Фейнмана, электроны и позитроны не обязаны подчиняться даже этому правилу, потому что толкование позитрона как электрона, движущегося «вспять» во времени, эквивалентно нахождению его в один и тот же момент времени более чем в одном месте: на рис. 12 одновременное сечение $t = t_0$ пересекает мировую линию электрона по меньшей мере в трех местах. Таким образом, хотя с точки зрения электрона, то есть в его собственном времени, события, представленные этими пересечениями, происходят в определенной последовательности, для макроскопического прибора, регистрирующего события (камеры Вильсона), они будут казаться одновременными. Более того, как мы уже видели, видимый порядок некоторых событий будет даже обращен. Следовательно, мы вынуждены заключить, что не все последовательности во времени могут быть подведены под всеобщий порядок времени.

Рейхенбах¹ рассматривает это как «наиболее серьезный удар, который понятие времени получало когда-либо в физике». Он делает вывод, что время в том смысле, в каком мы обычно понимаем его, то есть макроскопическое время, должно поэтому быть существенно статистическим по своему характеру. Порядок времени нельзя непосредственно вывести из элементарных явлений, которые его порождают, он «вытекает из атомного хаоса как статистическая закономерность». Упорядоченное и направленное время возникает таким путем лишь потому, что позитроны (и другие античастицы) являются короткоживущими при наличии таких частиц, как электроны, которые подчиняются правилам упорядоченного и направленного времени. Решающим является статистическое преобладание² последних частиц. Таким образом, мы можем сформулировать инте-

¹ Г. Рейхенбах, цит. соч., стр. 355.

² В настоящее время мы не в состоянии теоретически объяснить эту асимметрию, и «случайностью природы» может быть факт, что отрицательные электроны и положительные протоны столь значительно преобладают по сравнению с их аналогами противоположного знака, которые, как мы знаем, могут существовать и существуют,

ресную гипотезу: *существование асимметрично направленного макроскопического порядка времени обусловлено асимметрией отрицательных и положительных электрических зарядов в мире.*

4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ВРЕМЕНИ (II)

Прежде чем дальше рассматривать вопрос о том, как в макроскопическом масштабе может возникнуть однонаправленное время, мы должны более тщательно исследовать ситуацию в микроскопическом масштабе.

Вообще основным механизмом в микроскопическом масштабе считается свойство инвариантности относительно обращения времени, то есть независимость от «направленности времени». Однако имеется возможность и обратного; основания для этого появились после открытия (для некоторых элементарных частиц) необязательности сохранения четности¹.

Хотя открытие несохранения четности в слабых взаимодействиях не было, однако, дополнено каким-либо нарушением гипотезы об инвариантности относительно

¹ *Четность* — это специальный термин, используемый в теоретической физике для различия между двумя пространственно несовместимыми «кручениями», например между левым и правым винтами. Хотя издавна было известно (особенно ясно это стало после новаторских исследований Пастера), что данное различие часто играет существенную роль на молекулярном уровне, например при сбраживании виноградного сока активную роль играет левовращающая (а не правовращающая) виннокаменная кислота, тем не менее считалось, что различия такого типа не могут проявиться в более фундаментальных законах элементарных частиц. В январе 1957 года была обнаружена ошибочность этого взгляда, поскольку экспериментально удалось проверить теоретические предсказания Ли и Янга относительно слабых взаимодействий (названных так в отличие от более мощных ядерных реакций), ответственных за распад всех частиц, кроме электронов, протонов, фотонов и нейтрино. Эксперименты, число которых с тех пор значительно возросло, обнаружили, что четность при этих взаимодействиях не сохраняется (и что существует только правополяризованный нейтрино, а не левополяризованный).

Кстати сказать, факт стереохимического отличия белковых молекул в растениях и животных от их зеркальных изомеров является аргументом в пользу того, что вся жизнь на Земле возникла в результате единичной случайной флуктуации. Если бы жизнь началась независимо во многих различных местах, то лево- и правовращающие разновидности должны были бы встречаться более или менее одинаково часто,

обращения времени, между ними вполне может существовать тесная связь, правда, теоретически было показано, что инвариантность относительно обращения времени имеет место независимо от сохранения четности¹. Если возникает необходимость проанализировать статистическую механику, то обычно достаточно рассмотреть лишь сильные взаимодействия, при которых четность сохраняется и имеет место инвариантность относительно обращения времени, поскольку какое-либо нарушение инвариантности относительно обращения времени в случае слабых взаимодействий должно быть совершенно незначительным. С другой стороны, Пайерлс² указал на прямо противоположную возможность. Он указал, что, если когда-то в истории вселенной преобладали условия достаточно высокой температуры и достаточно высокой плотности, взаимодействия, которые в настоящее время слабы для свободных частиц, могли в то время быть не такими уж слабыми, но он считает, что пока у нас нет определенных данных о каком-либо нарушении инвариантности относительно обращения времени на микроскопическом уровне.

Хотя общепризнано, что основные принципы, которым подчиняются явления в атомном и субатомном масштабе, не проявляют предпочтительного направления во времени и что обнаруженные асимметрии во времени, например связанные с тем, что существует спонтанное излучение, а спонтанного поглощения фотонов атомами не наблюдается, должны поэтому быть объяснены скорее статистически, а не на основе элементарных законов³, высказывались и противоположные точки зрения. В частности, Макс Борн утверждает, что окончательное обоснование закона возрастания энтропии надлежит искать в квантовой механике⁴. Но Ватанабе показал, что вывод Борном этого закона на основе квантовой механики столь же уязвим со стороны

¹ J. S. Bell, «Proc. Roy. Soc.», A, 231, 1955, 479; G. Lüders, «Ann. of Phys.», 2, 1957, 1.

² R. E. Peierls, «Proc. Roy. Soc.», A, 246, 1958, 492.

³ H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science, Princeton, 1949, p. 264.

⁴ M. Born, Natural Philosophy of Cause and Chance, Oxford, 1949, p. 113.

парадокса обратимости Лошмидта, как и классическое его обоснование⁵.

Пока наиболее убедительными аргументами в пользу связи наличия предпочтительного направления времени с квантовой механикой являются те аргументы, которые основаны на взаимодействии квантовомеханических систем с макроскопическими системами, описываемыми в классических терминах, а именно в процессе действительного наблюдения в лаборатории. В этом случае мы находим, что уравнение Шрёдингера ведет себя асимметрично относительно прошлого и будущего. Следовательно, два направления времени не являются в квантовой механике физически равноценными. По мнению Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица, возможно, что макроскопическим выражением этого явления служит закон увеличения энтропии⁶. Но пока этого никто не доказал, поэтому Ландау и Лифшиц полагают, что, прежде чем можно будет сформулировать подобное доказательство, видимо, необходимо найти какое-то квантовое неравенство, которое будет и оправдывать этот закон, и вообще выполняться в природе, весьма вероятно, в широком классе явлений.

Роль времени по отношению к квантовой механике наиболее четко вскрывается при анализе физического наблюдения вообще. Согласно современной теории информации, как это было отмечено, например, Л. Бриллюэном⁷, наблюдение является существенно необратимым процессом. Независимо от того, встанем ли мы на термодинамическую точку зрения или мы согласимся включить в энтропию более широко используемое понятие «информации», при любом наблюдении неизбежно возрастание энтропии. Более того, как было подчеркнуто Нейманом и другими авторами, в квантовой теории никогда нельзя строго говорить о системе, что она находится в определенном состоянии, пока не проведено или не предположено, что проведено измерение некоторой величины, используемой для описания этой системы. Но, поскольку сам процесс измерения автоматиче-

⁵ M. S. Watanabe, «Rev. Mod. Phys.», 27, 1955, 179.

⁶ Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц, Статистическая физика, Гостехиздат, М. — Л., 1951, стр. 43—47.

⁷ Л. Бриллюэн, Наука и теория информации, Физматгиз, М., 1960, стр. 242.

ски влияет на будущее поведение системы, его действие является необратимым. Подобно принципу неопределенности Гейзенберга, принцип «негэнтропии», который утверждает, что любая информация, как результат физического наблюдения, должна быть получена ценой повышения энтропии в лаборатории, является фундаментальным ограничением физического измерения; но в отличие от принципа Гейзенберга его справедливость, по существу, на практике не ограничена микроскопическим уровнем. Однако, поскольку этот принцип существенно предполагает участие наблюдателя, он не может быть использован для вывода о наличии объективной последовательности явлений во времени.

Наиболее свежая попытка вывести понятие времени из понятия энтропии принадлежит Рейхенбаху¹. Как мы видели, Рейхенбах сознает возможность того, что однонаправленное время может и не существовать на микроскопическом уровне, и поэтому он считает, что оно является существенно макроскопическим понятием, которое возникает из статистических соображений. Но Рейхенбах считает парадокс обратимости решающим доводом в пользу отказа от какого бы то ни было определения направления времени через энтропию *изолированной* системы. Поэтому он утверждает, что не следует ограничиваться при рассмотрении историей единичной системы; наоборот, мы должны статистически рассматривать большое количество из того, что он называет «ответившимися системами». Это подсистемы, относительно изолированные от основной системы вселенной, поскольку обмен энергией, совершающийся внутри них, велик по сравнению с энергией, которой они обмениваются с остальной частью вселенной. Типичным примером такой системы является кубик льда, положенный первоначально в стакан с горячей водой. Ответившаяся система может быть сначала переведена в состояние с небольшой энтропией (хотя энтропия более широкой системы может при этом и возрасти), но, вообще говоря, потом мы можем найти, что относительная энтропия ответившейся системы стремится к возрастанию. Рейхенбах показал, что возможность следования состояния с высокой энтропией вслед за состоянием с низкой энтро-

пией больше, чем вероятность того, что состояние с низкой энтропией будет следовать за состоянием с высокой энтропией. Таким образом, он пришел к следующему определению: *то направление, в котором протекает большинство термодинамических процессов в изолированных системах, и представляет направление положительного времени*. Рейхенбах считает, что это определение свободно от парадокса обратимости, поскольку статистический критерий теперь относится к большому количеству, ответившихся систем («пространственному ансамблю»), а не к последовательности состояний («временному ансамблю») единичной системы.

К сожалению, и это понимал сам Рейхенбах, вышеприведенное определение не обязательно приводит нас к отождествлению возрастания времени с возрастанием энтропии, поскольку, как это было подчеркнуто Грюнбаумом¹, существенной предпосылкой анализа Рейхенбаха было то, что подсистемы отвечаются, будучи в своих состояниях с низкой энтропией, а эта возможность зависит от нахождения самой главной системы в относительно упорядоченной конфигурации (или конфигурации с низкой энтропией). Фактически это означает, что она должна находиться на восходящей части ее кривой энтропии. Если в соответствии с идеями теории времени Больцмана — Рейхенбаха мы примем чисто статистическую точку зрения на проблемы, то мы должны предположить, что главная система проходит через огромную и «крайне невероятную» флуктуацию от своего «наиболее вероятного» равновесного состояния². Это предположение было фактически сделано Больцманом³, который считал, что вселенная как целое столь обширна (как в «пространстве», так и во «времени»), что «наша часть ее» испытывает как раз такую флуктуацию и в настоящее время находится в состоянии с крайне низкой энтропией, то есть не слишком дезорганизована, чтобы мы не могли в ней существовать. Но в начале

¹ A. Grünbaum, «American Scientist», 43, 1955, 566.

* Строго говоря, термодинамика применима только к равновесным состояниям замкнутых систем. Мы уже отмечали, что внутри такой системы наименее вероятное состояние как следует за более вероятными состояниями, так и предшествует им, и поэтому они должны возникать как флуктуации от равновесного состояния.

³ Л. Больцман, Лекции по теории газов, Гостехиздат, М., 1953, стр. 526.

См. Г. Рейхенбах, цит. соч.

такой флуктуации энтропия должна убывать, и поэтому Больцман утверждал, что во вселенной должны также быть районы, в которых направление времени противоположно нашему направлению времени, хотя эти районы могут быть отделены от нас огромными расстояниями (пустого пространства) и длительными периодами времени. Тем не менее, даже если мы примем эту гипотезу, а Больцман, конечно, ничего не знал о современных данных относительно строения и эволюции вселенной, мы все еще не устраним трудность, состоящую в том, что, поскольку наша собственная область в настоящее время испытывает флуктуации, ее энтропия не может непрерывно порождать в ней постоянное направление времени.

Следовательно, поскольку теория Рейхенбаха «ответившихся систем» основана на кривой энтропии «главной системы», находящейся в состоянии флуктуации, она не достигает своей цели; и если мы попытаемся ее спасти, распространяя ее на все большие и большие системы, мы достигнем цели только после того, как распространим ее на всю вселенную. Действительно, если на некоторой стадии ответившиеся системы отсутствуют, поскольку ни одна система не является достаточно изолированной, то единственным путем, который остается для направления времени в такую эпоху, была бы прямая надежда на увеличение мировой энтропии. Но как мы уже видели в главе I, на пути формулирования подобной концепции стоят серьезные трудности. Эти трудности усиливаются тем, что в настоящее время не имеется общего согласия относительно протяженности вселенной, то есть относительно того, является ли она конечной или бесконечной, а также тем, что гипотеза о взаимном разбегании скоплений туманностей влечет за собой вывод, в соответствии с которым фоновые условия вселенной не являются неизменными.

Неудача остроумной попытки Больцмана использовать второй закон термодинамики для обоснования статистического определения времени, а также неудача новейшего усовершенствования его теории Рейхенбахом является дальнейшим доводом в пользу нашего тезиса о том, что представление о времени не может быть выведено из некоторых первичных концепций, в которых оно неявно не используется. Сначала статистическая тео*

т

рия времени почти имела силу скрытой тавтологии. Но ее последующая история обнаруживает наличие поразительного сходства с историей остроумных попыток, которые были осуществлены в нашем столетии, попыток свести чистую математику к логике. Подобно тому как мы вынуждены в настоящее время сделать вывод, что математика является объектом *suí generis*, мы вынуждены принять точку зрения, согласно которой понятия более раннего и более позднего нужно рассматривать как первичные понятия¹.

5. «СТАНОВЛЕНИЕ» И ПРИРОДА ВРЕМЕНИ

Представление о том, что временные отношения являются окончательными и ни к чему не сводимыми, с большой неохотой принимается многими философами и философски мыслящими учеными. Хотя редко кто отрицает, что время «реально» в том смысле, что оно есть явление нашего опыта или, как выразился Лейбниц, «явление *bene fundatum*», различные мыслители, даже сильно отличающиеся друг от друга по общей системе своих взглядов, как, например, Платон и Кант, Брэдли и Вейль, неоднократно утверждали, что временной характер нашего восприятия не имеет *окончательного* значения. Хотя эта позиция вначале связывалась с давней традицией идеалистических философов, идущей от Парменида, она была принята столь эмпирически настроенным мыслителем, как Бертран Рассел. В своем очерке «Мистицизм и логика» после критики идеалистических аргументов в пользу нереальности времени он утверждает следующее: «Тем не менее есть определенный смысл, который легче чувствовать, чем констатировать, в каком можно принять тезис о несущественности

¹ В отличие от гипотезы об увеличении энтропии Эддингтон (*New Pathways in Science*, Cambridge, 1935, p. 67–68) предположил, что космическое расширение могло бы дать нам возможность решить, какая из эпох является более поздней, на основе критерия, по которому более поздняя эпоха соответствует большему объему вселенной. Однако в качестве предпосылки этого критерия выдвигается утверждение, что вселенная *всегда* расширяется, а это, конечно, не самоочевидно. Более того, как считал Эйнштейн, расширение неудобно взять в качестве вехи для локального времени.

т

времени и о том, что оно является поверхностной характеристикой реальности. Прошлое и будущее следует признать столь же реальным, как и настоящее, и для философского мышления существенна некоторая эмансипация от рабской привязанности ко времени¹. Как заметил один современный историк философии в связи с этим высказыванием Рассела, любой философ, который подходит к философии через логику, видимо, должен аргументировать таким образом², хотя импликация не является временным отношением³.

Даже Уайтхед, который глубоко исследовал проблемы, связанные с временем, и находился под сильным влиянием Бергсона, чувствовал себя обязанным рассматривать временную протяженность материи как менее значительную характеристику, чем ее пространственную протяженность, поскольку, как он сам аргументировал, если материальное существовало какой-то период времени, то оно существовало и в течение любой части этого периода, так что деление времени не делит материальное. С другой стороны, деление пространства, которое занимает материальное, делит и само материальное. Следовательно, «факт того, что материальное безразлично к делению времени, приводит нас к выводу о том, что течение времени скорее является акциденцией, а не сущностью материального»⁴. Против подобной аргументации⁵, однако, мы можем выдвинуть следую-

¹ B. Russell, *Mysticism and Logic*, London, 1919, p. 21.

² Забавную историю о русском философе Николае Бердяеве рассказал Юджин Ламперт («The Listener», 60, 1958, 193): «Я слушал его страстные тирады о несущественности и нереальности времени, как вдруг он неожиданно остановился, взглянул на свои часы и искренне расстроился из-за того, что опоздал на две минуты принять лекарство».

³ J. Passmore, *A Hundred Years of Philosophy*, London, 1957, p. 273.

⁴ A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1926, p. 63.

⁵ Уайтхед рассматривал только материю, но не следует упускать из виду то, что в области умственной деятельности дело, по существу, обстоит как раз наоборот, поскольку, как было показано путем хирургического удаления частей коры головного мозга, в некоторых пределах пространственное «деление сравнительно мало влияет на мышление», в то время как временное деление сводит его к фрагментам. Важному понятию *плотности* материальных объектов соответствует столь же существенное понятие *скорости ныщления* (*и решения*) в умственных процессах,

Ще: любой объект может быть в одном и том же месте два или более раза в различные моменты времени, но, как правило, он не может быть в один и тот же момент времени в двух или более различных местах, то есть для заданного объекта (например, часов) положение является однозначной функцией времени, а время не обязательно является, а зачастую как раз не является однозначной функцией положения; с этой точки зрения скорее временная переменная, а не пространственная координата является основной.

Философы, которые отрицают конечную реальность времени, часто утверждают, что это представление является противоречивым. Их аргументы основаны, подобно аргументам Зенона, или на возражениях против экстенсивных концепций времени, например против предположений о его бесконечности или непрерывности, или на возражениях против его преходящего характера, то есть против концепции «становления» и ее отношений к прошлому, настоящему и будущему. Эти отношения касаются самой сущности времени. Видимо, наиболее тщательный разбор этих отношений по сравнению с тем, что было сделано ранее, был проведен в начале нашего столетия Мактаггартом, который считал, что утверждения о том, что событие *E* в настоящее время имеет место, имело будущее и будет иметь прошлое, несовместимы друг с другом. Мактаггарт различал изменяющийся ряд *A*, как он называл его, ряд прошлого, настоящего и будущего от статического ряда *B*, в котором события связаны порядком «ранее чем» или «позднее чем». Он утверждает и, по моему мнению, правильно, что Л-характеристики событий являются существенными чертами представлений о времени и изменении. Но далее Мактаггарт утверждает, и неправильно, что они содержат в себе противоречие, которое нельзя обойти, не впад в дурную бесконечность. Поэтому он считает, что при окончательном анализе противоречие не может быть устранено¹.

¹ Точка зрения Мактаггарта, согласно которой бесконечный регресс «порочен», может находиться в противоречии с точкой зрения Данна (J. W. Dunne, *An Experiment and Time*, 3rd edition, London, 1934, reprinted, 1958, p. 197), что «дурная бесконечность, помимо прочего, является надлежащим и правильным описанием отношения ума к объективной вселенной».

Основание детальной и сложной аргументации Мактаггарта состояло в утверждении, что событие никогда не перестает быть только событием. «Возьмите любое событие, например смерть королевы Анны, и рассмотрите, какие изменения претерпели характеристики этого события. То, что это событие — смерть, что оно — смерть Анны Стюарт, что оно имеет такие-то следствия, — каждая характеристика подобного рода никогда не изменяется. Смерть королевы находилась в зависимости от события: «Прежде чем звезды глянут прямо друг на друга». В последний момент времени, если время имеет последний момент, еще будет иметь место факт смерти королевы. И в любом отношении, кроме одного, этот факт в равной степени избавлен от изменения. Но в одном отношении он меняется. Он однажды был событием в далеком будущем. С каждым моментом времени он становится все ближе и ближе. Наконец он осуществился. Затем он стал прошлым и навсегда останется прошлым, хотя с каждым моментом он становится все более и более удаленным прошлым»¹. Мактаггарт считает, что, хотя прошлое, настоящее и будущее являются несовместимыми определениями, любое событие может иметь их все. Если кто-либо на это возразит, что события обладают характеристиками не одновременно, а последовательно, то Мактаггарт отвечает на это аргументом: наше утверждение о том, что событие *E* имеет место, будет в прошлом и было в будущем, означает, что *E* имеет место в некоторый момент настоящего времени, было в прошлом в некоторый момент будущего времени и будет в некоторый момент прошлого времени. Но каждый из этих моментов сам по себе является событием во времени и, таким образом, имеет и прошлое, и настоящее, и будущее; другими словами, трудности возникают вновь, и мы неизбежно впадаем в дурную бесконечность.

Ответ на эту хитроумную задачу был четко сформулирован Броудом, который указал, что мы *не* говорим, что битва при Гастингсе предшествует битве при Ватерлоо, а что она предшествовала последней и что вообще связка в предложениях, сделанных относительно временных отношений между событиями, не является

¹ J. M. E. McTaggart, *op. cit.*, p. 13.

безвременной связкой логики, а временной связкой «в настоящее время есть», «было» или «будет». «Когда я произношу фразу: «Был дождь», я *не* имею в виду, что в некотором таинственном невременном смысле слова «есть» есть дождливое событие, которое в какой-то момент обладало качеством наличия в настоящее время, а теперь его утратило и вместо этого приобрело некоторую определенную форму качества наличия в прошлом. Я подразумеваю лишь, что дождливость была, но больше ее нет, по соседству со мной она не проявляется. Когда я произношу фразу: «Будет дождь», я *не* имею в виду, что в некотором таинственном невременном смысле слова «есть», *есть* дождливое событие, которое теперь обладает некоторой определенной формой качества будущности и с течением времени потеряет будущность, а вместо этого приобретет качество наличия в прошлом. Я лишь утверждаю, что дождливость будет, но в настоящее время ее нет, по соседству со мной она не проявляется»¹.

Сущность аргументации Мактаггарта, коротко говоря, представляет собой философский ложный вывод такого же типа, как и онтологический аргумент св. Ансельма в пользу существования бога. Св. Ансельм рассматривал существование так, как если бы оно было предикатом как доброта, а Мактаггарт рассматривал абсолютное становление так, как если бы оно было формой качественного изменения². *Время как таковое не является процессом во времени*³.

Поскольку сам Мактаггарт понимал, что, если время не может быть объяснено без предположения о времени и мы отвергаем его утверждение о том, что это доказывает нереальность времени, единственной альтернативой остается рассмотрение времени как окончательной сущности⁴. А это — та точка зрения, к которой мы должны

¹ C. D. Broad, *Examination of McTaggart's Philosophy*, Vol. II, Part I, Cambridge, 1938, p. 316.

² Аналогичная ошибка была сделана Дж. В. Данном в его теории о последовательном времени.

³ Мы напомним соответствующее место парадокса Зенона: «именно если все существующее помещается в известном месте, то ясно, что будет и место места, и так идет в бесконечность» (Аристотель, *Физика*, Соцэгиз, М., 1937, стр. 71).

⁴ J. M. E. McTaggart, *Philosophical Studies*, London, 1934, p. 126.

теперь присоединиться¹. События происходят, а не существуют в каком-либо другом смысле. Более того, совершение события как таковое не является дальнейшим событием, и поэтому в данном случае не будет иметь место дурная бесконечность типа, рассмотренного Мактаггартом.

Большой заслугой Мактаггарта, однако, по сравнению с другими философами-идеалистами, например Брэдли, является то, что, не соглашаясь с простым отрицанием реальности времени, он попытался объяснить, как мы приходим к иллюзии, которая заставляет нас приписывать существующему временные характеристики. Его объяснение основано на остроумной гипотезе о том, что третий ряд, С-ряд, который ошибочно воспринимается воспринимающим как временной ряд, в действительности является реальным невременным рядом. Два основных отношения этого ряда, как отношения В-ряда, являются транзитивными и асимметричными, и одно переходит в другое (так же как «раньше» в Л-ряду является обращением «позже»). Мактаггарт решил, что отношения «включается в» и «включает» удовлетворяют сложной системе двенадцати условий, которым, по его мнению, должны удовлетворять С-ряды. Так или иначе

¹ Хотя анализ времени (как и анализ бесконечности) постоянно наталкивается на логические опасности, как, например, данное Шопенгауэром определение времени «как возможности противоположных определений для одной и той же вещи» (А. Шопенгауэр, О четверяком корне закона достаточного основания, Полное собрание сочинений, т. 1, М., 1900, стр. 25), которое переключается с определением, данным Лейбницем: «время есть порядок несовместимых возможностей» («Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz», Bd. IV, Berlin, 1880, S. 568), и с определением мисс Клюф: «Алогический элемент во вселенной» (М. А. Cleugh, Time, London, 1937, p. 280), мы отбрасываем идеалистический вывод о том, что время иллюзорно. Напротив, мы соглашаемся с Бродом, когда он говорит, что, *если* логика исключает время, «тем хуже для логики» (С. D. Broad, Scientific Thought, London, 1923, p. 83).

В недавно опубликованном очень глубоком анализе аргументов Мактаггарта Минк (L. O. Mink, «Philosophical Quarterly», 10, 1960, 253—263) показывает, что Мактаггарт говорил не о времени как таковом, а об аргументах о времени. Минк пришел к выводу, что попытка «сохранить от забвения факт мимолетности» в языке порождает «дурную бесконечность, логические круги, парадоксы и учетверение терминов», из этого не следует, что время как таковое не является реальным, «если автоматически не предполагается, что время должно быть наделено *всеми* характеристиками рассуждения,

(а без неявного привлечения представления о времени, видимо, скорее нельзя найти полностью убедительный случай для его корреляции с «включает», чем для его корреляции с его антиподом: «позднее чем») факт остается фактом: С-ряд недостаточен для полного объяснения времени, поскольку он не освобождает от необходимости рассматривать Л-ряд, являющийся, как сначала настаивал на этом и сам Мактаггарт, существенным для времени, так как, хотя члены, с которыми связан В-ряд, являются событиями, этот ряд как таковой не является *временным* рядом. Тем не менее в дальнейших разделах анализа, проведенного Мактаггартом, В-ряд почти исключительно служит для выражения времени, а Л-рядом автор по непонятным причинам пренебрегает. Как заметила Клюф, «переход от В-ряда к С-ряду является успешным постольку, поскольку В-ряд не является временным... Пока 5-ряд рассматривается как ряд, все хорошо; но, когда делают ссылку на специфическое *временное* сопутствующее значение, возникают трудности. От призрака времени никак не удастся избавиться»¹.

Теория времени Мактаггарта и критика, которой она была подвергнута, не являются предметами для рассмотрения только одних философов-профессионалов. И то и другое имеет прямое отношение к гипотезе о «клочковатой вселенной». Как мы уже видели, эта гипотеза была сильно подкреплена пространственно-временным истолкованием теории относительности. С точки зрения, принятой Эйнштейном, а также Вейлем, «объективный мир просто *есть*, он не *случается*. Лишь для взора моего тела, порождается часть мира как образ, плывущий в пространстве и непрерывно меняющийся во времени»². Другими словами, релятивистская картина признает лишь различие между раньше и позже, а не между прошлым, настоящим и будущим³. Действительно,

¹ М. А. Cleugh, Time, London, 1937, p. 164—165.

² H. Weyl, Philosophy of Mathematics and Natural Science, Princeton, 1949, p. 116.

³ Это может быть справедливо и для микрофизического уровня: см. R. P. Feynman, loc. cit. Фейнман полагает, «то при изучении «близких соударений» элементарных частиц мы должны отказать от метода гамильтонианов, э котором будущее рассматривается

мы должны установить аналогию между членами С-ря¹ да Мактаггарта и последовательными задними световыми конусами с вершинами, расположенными на мировой линии наблюдателя на диаграмме Минковского. Как было подчеркнуто Эддингтоном¹, а также Рейхенбахом², теория относительности не дает полного отчета о роли времени, даже в физике. Как и теория Мактаггарта, она касается *существования*, но не *свершения событий*.

Приверженцы гипотезы «клочковатой вселенной» рассматривают настоящее в духе аналогии, установленной Брудом, как световое пятно от фонарика полицейского, освещающего фасады домов на улице. Эта тенденция к реификации времени³ как последовательного порядка событий, вдоль которого качество наличия в настоящем перемещается из прошлого в будущее, была подвергнута критике Брэдли⁴. «Мы, видимо, думаем,— писал он,— что сидим в лодке и нас несет поток времени и что на берегу стоит ряд домов с номерами на дверях. И мы выходим из лодки и стучим в дверь с номером 19; сев в лодку, мы оказываемся напротив дома с номером 20, а еще раз проделав то же самое, подъезжаем к дому номер 21. Все это время неподвижный и неизменный ряд прошлого и будущего простирается в

ается как непрерывно вытекающее из прошлого. Вместо этого, говорит он, мы должны «представить себе всю развернутую пространственно-временную историю и что мы последовательно получаем сведения о все возрастающих ее долях» (J. L. Martin, «Proc. Roy. Soc.», 1959, № A251, p. 536). Фейиман утверждает, что, вообще говоря, метод гамильтонианов является более фундаментальным, чем метод лагранжианов, по двум причинам. «На первый взгляд более естественно рассматривать поведение системы во времени скорее с помощью непрерывно осуществляемых преобразований, чем с помощью вариационного принципа, применяемого одновременно ко всей области значений времени. Если выражаться более практически, будет найдено, что подход с помощью гамильтонианов более широк, если выбирать из них двоих». Некоторые гамильтоновы системы не имеют лагранжевых форм.

¹ A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World*, London, 1935, p. 76.

² Г. Рейхенбах, *Направление времени*, Издательство иностранной литературы, М., 1962, в разных местах.

³ Почти инстинктивный характер этого подтверждается многочисленными примерами, например действиями недовольных введением в Англии в сентябре 1572 года грегорианского календаря, требовавших: «Верните нам наши одиннадцать дней!»

⁴ F. H. Bradley, *The Principles of Logic*, Oxford, vol. I, p. 54—55.

виде кварталов позади нас и впереди нас». Взамен этого он предлагает следующую аналогию, которая гораздо ближе к нашему действительному опыту, связанному со временем. «Если действительно необходимо иметь некоторый образ, то от худшего нас может спасти, видимо, следующее. Давайте представим, что мы находимся в кромешной тьме, нагнулись над потоком и вглядываемся в него. У потока нет берегов, а его течение сплошь открыто и заполнено движущимися вещами. Прямо под нашими лицами на воде находится ярко освещенное пятно, которое беспрестанно расширяется и сужается, и показывает нам, что проходит по течению; это пятно является нашим «теперь», нашим настоящим».

Хотя теория относительности не говорит ничего существенного ни по вопросу «становления» и роли настоящего, ни по поводу связанного с этим вопроса о различии между прошлым и будущим, некоторый свет на эти проблемы пролила квантовая теория, поскольку в квантовой механике прошлая история индивидуальной системы не определяет ее будущего в каком-либо абсолютном смысле, а определяет лишь ее возможное будущее. Вообще нет мыслимой совокупности наблюдений, которые могут снабдить нас достаточной информацией о прошлом системы для того, чтобы мы получили полную информацию о ее будущем. Будущее является математической конструкцией, которая может быть изменена наблюдением¹.

Этот принципиальный индетерминизм будущего в конечном счете освобождает от утверждения Лапласа² о том, что «ум, которому были бы известны для какого-либо данного момента все силы, обуславливающие природу и относительные положения³ всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу, обнял бы

¹ M. S. W a t a n a b e, Reversibilite contre irreversibilite en Physique Quantique, в сборнике: «Louis de Broglie, Physicien et Penseur», Paris, 1953, p. 385—400.

² П. С. Лаплас, Опыт философии теории вероятностей, М., 1908, стр. 9; см. также E. W. B a r n e s, *Scientific Theory and Religion*, Cambridge, 1933, p. 578.

³ Строго говоря, с точки зрения ньютоновской механики (которой придерживался Лаплас) должны быть известны в данный момент скорости, а также относительные положения,

в одной формуле движение величайших тел вселенной наравне с движением легчайших атомов, не оставалось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошлое, предстало бы перед его взором¹. Теперь мы понимаем, что такие утверждения полностью безосновательны. *Прошлое определено, настоящее является моментом «становления», когда события стали определены, а будущее пока является неопределенным.*

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? Факт перехода и «становления» вынуждает нас признать существование

¹ В своей знаменитой лекции «О границах естествознания», прочитанной в Лейпциге в 1872 году, Э. Дюбуа-Реймон даже утверждал, что лапласовский вычислитель смог бы предсказать на основе своей формулы, кто такой был Человек в железной маске и когда Англия должна сжечь свой последний кусок угля! Он был бы бессилён решить только одну проблему—объяснить сознание. С другой стороны, в важной статье, опубликованной в 1950 году, Поппер (K. R. Popper, «Brit. J. Phil. Sei.», 1, 1950, 117 и сл., 173 и сл.) утверждает, что, даже предполагая будущее как полностью подчиненное строгому ньютоновскому детерминизму, лапласовский вычислитель (рассматриваемый как физическая предсказывающая машина, которая сама является частью физического мира), не мог бы *предсказать* это. Вместо этого вычислитель был бы лишь способен «предсказать» состояние своего окружения (включая себя) в любой конкретный момент времени в будущем *после* наступления рассматриваемого времени! Поскольку имеет место внутренне присущее запаздывание, которое не может быть устранено при получении информации из окружающей среды об окружающей среде; в частности, вычислитель должен учесть результаты собственных предыдущих расчетов. Плэтт (J. R. Platt, «American Scientist», 44, 1956, 183) сделал еще одно замечание о том, что мы никогда не смогли бы знать положения и скорости всех частиц во вселенной в заданный момент времени, поскольку нам потребовалось бы для этого невероятно большое количество усилителей, а они должны были бы находиться вне вселенной! В самом деле, индивидуальные движения миллиардов молекул в малом количестве газа непознаваемы, *даже в принципе*. «Число независимо познаваемых частиц должно быть всегда по порядку величины меньше числа частиц в усилителях».

элемента индетерминизма и неустранимой случайности во вселенной¹. Будущее скрыто от нас—не в настоящем, а в будущем. Время—это посредник между возможным и действительным².

6. ДИАГРАММА МИНКОВСКОГО И ПРИРОДА ВРЕМЕНИ

Мы видели, что «универсальное» время физики является значительно более сложным понятием по сравнению с представлениями, существовавшими ранее, поскольку, хотя, согласно наиболее ходовым космологическим теориям, общее распределение материи по всей наблюдаемой вселенной согласуется с представлением о «мировом» космическом времени, это время не имеет отношения к системе отсчета, быстро движущейся по отношению к локальному среднему распределению материи. Более того, если расширение вселенной неравномерно, то есть если относительное радиальное движение скоплений туманностей является ускоренным, то может случиться, что в удаленных областях происходят события, которые никогда не могут быть обнаружены, даже в принципе, наблюдателями в нашей области. Эти выводы зависят от гипотезы о том, что локальная скорость света в свободном пространстве представляет собой теоретический верхний предел скорости, с которой могут передаваться сигналы. Эта гипотеза заставляет нас отказать от картины, представляющей физическое время как движущееся вперед лезвие огромного ножа; и если мы желаем сохранить примерно такой мысленный образ, мы должны вместо него представить себе комплекс движущихся световых конусов в пространстве-времени, причем траектория каждой вершины является мировой линией потенциального наблюдателя.

Хотя в диаграмме Минковского³, связанной с заданной системой отсчета A и событием E (выбранным

¹ M. F. C le u g h, Time, London, 1937, Chapter XII.

² А. Шопенгауэр, Мир как воля и представление, т. II, Полное собрание сочинений, т. II, М., 1903, стр. 46—47.

³ Если учесть наличие полей тяготения, мы должны сосредоточить внимание на достаточно близкой окрестности E , то есть мы должны заменить t, x, y, z на соответствующие дифференциалы

в качестве пространственно-временного начала координат этой системы), любая точка (t, x, y, z) представляет собой потенциальное событие, лишь про те события P , которые лежат *внутри* или *на* переднем световом конусе LEM ($c^2 t^2 - x^2 = y^2 + z^2, t > 0$), можно твердо сказать, что они лежат «в будущем» по отношению к E , и аналогично лишь про те события P' , которые лежат *внутри* или *на* заднем световом конусе $L'EM'$ ($c^2 t^2 - x'^2 = y'^2 + z'^2, t < 0$), можно твердо сказать, что они лежат «в прошлом» по отношению к E , поскольку лишь эти события могут находиться в соответствующих причинных отношениях к E .

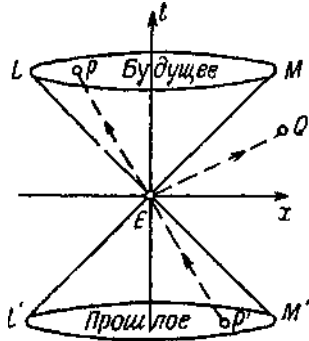


Рис. 13.

С целью доказательства этой важной теоремы¹ напомним сначала, что, если событие находится внутри одного из световых конусов (LEM или $L'EM'$ на рис. 13), его можно связать соответствующим порядком с событием E при помощи сигнала или частицы, движущейся (относительно A)

со скоростью, меньшей c . С другой стороны, если Q является событием, которое находится вне обоих световых конусов ($c^2 t^2 < x^2 + y^2 + z^2$), то все, что перемещается от Q к E или от E к Q при условии $t > 0$, должно иметь скорость, большую, чем c .

Однако для того, чтобы мы смогли рассматривать это доказательство как полное, мы должны рассмотреть отношение между E и Q с точки зрения любой другой системы отсчета B , имеющей то же самое пространственно-временное начало координат E , но движущейся с любой равномерной и прямолинейной скоростью V ($< c$) в любом направлении относительно A . Мы всегда можем направить пространственные оси A так, чтобы B двигалась вдоль оси x ; мы предположим, что это и имеет место. Мы предположим также, что оси x', y', z' системы B соответственно совпадают с осями x, y и z системы A ,

когда начала отсчета обеих систем совпадают с точкой E . Если мы выбираем единицы измерений так, чтобы c обратилось в единицу, формулы Лоренца, связывающие пространственно-временные координаты (t, x, y, z) в системе B любого события, которое в системе A имеет координаты (t, x, y, z) , будут иметь вид:

$$x' = \beta(x - Vt), \quad y' = y, \quad z' = z,$$

где $\beta = 1/\sqrt{1 - V^2}$. Следовательно, на диаграмме Минковского системы A , хотя оси y' и z' системы B будут лежать вдоль осей y, z системы A , оси t' и x' системы B будут находиться в плоскости (t, x) системы A вдоль прямых линий, имеющих одинаковый наклон к осям t и x соответственно. Более того, прямая на этой диаграмме, представляющая ось t' , будет лежать *внутри* световых конусов LEM и $L'EM'$, а прямая, представляющая ось x' , будет лежать *вне* этих световых конусов (см. рис. 14). Аналогично гиперплоскость (x', y', z') будет также находиться вне этих конусов, причем эта

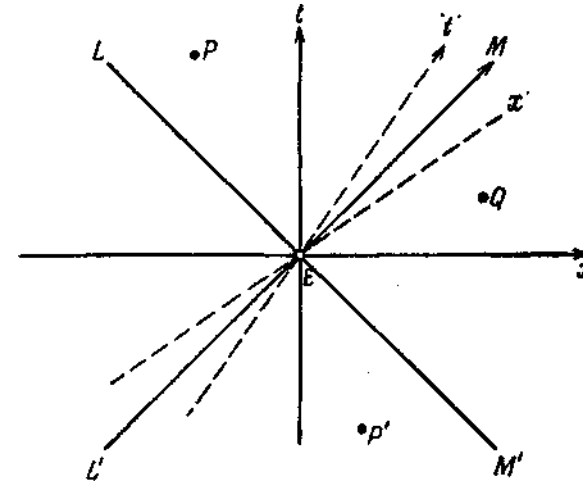


Рис. 14.

¹ Когда c равна единице, прямые LM' и $L'M$, по которым световые конуса пересекают плоскость (t, x) одинаково наклонены к оси t , а также к оси x ,

¹ В теории Робба она служит в качестве определения конечного порядка.

гиперплоскость будет пересекать плоскость $(/, x)$ по оси x' . Зная расположение события относительно этой гиперплоскости (находится ли оно выше или ниже ее), мы можем сразу же решить, какой знак будет иметь $/$ -координата, приписываемая ему в системе B , положительный или отрицательный. Мы видим, что если, согласно системе A , P лежит в будущем относительно E (то есть, $t > 0$) и внутри светового конуса LEM , то оно также находится в будущем относительно E для наблюдателя в системе B (то есть $/ > 0$). Аналогично если, согласно A , P' находится в прошлом относительно E ($t < 0$) и внутри светового конуса $L'EM'$, то оно также находится в прошлом относительно E для наблюдателя в B ($? < 0$). Следовательно, если любое событие находится внутри световых конусов, оно будет находиться или в будущем, или в прошлом относительно E , независимо от того, в какой системе отсчета оно рассматривается¹. Но если оно находится вне обоих световых конусов, его временное отношение к E будет зависеть от выбранной системы отсчета. Так, на рис. 14 Q находится в будущем по отношению к E , с точки зрения A ; но оно находится в прошлом относительно E , согласно B . Если, однако, скорость V системы B относительно A была бы достаточно малой, то Q находилось бы выше гиперплоскости (x', y', z') , и оно, таким образом, должно быть в будущем по отношению к E , согласно наблюдателям и в A , и в B . Аналогично если Q находится в прошлом относительно E для системы A и находится вне обоих конусов, то в зависимости от V оно может быть либо в прошлом, либо в будущем относительно E для системы B . Более того, если V такова, что гиперплоскость (x', y', z') проходит через событие Q , то, с точки зрения B , и событие E , и событие Q должны быть одновременными² ($t' = 0$).

¹Поскольку $c^2t^2 - (x^2 + y^2 + z^2)$ является лоренц-инвариантной величиной то, когда эта форма положительна, равна нулю или отрицательна относительно A , форма $c^2t'^2 - (x'^2 + y'^2 + z'^2)$ соответственно положительна, равна нулю или отрицательна относительно B при условии, что относительная скорость V меньше c . Отсюда следует, что, пока рассматриваемые системы отсчета имеют относительные скорости, меньше скорости света, события находятся или внутри или на, или вне светового конуса с вершиной в E , независимо от выбранной конкретной системы отсчета.

² Легко доказать, что в этом случае E и Q находятся в пространстве ближе друг к другу для системы B , чем для любой дру-

Так, если событие находится вне светового конуса события E , временное отношение между ним и E будет зависеть от системы отсчета. Эта неопределенность несовместима с каким-либо объективным критерием причинности, связывающим два события, и -теорема, таким образом, доказана.

Пространственно-временная область, лежащая внутри (и на ') переднем световом конусе LEM , может быть названа *абсолютным будущим* по отношению к E , а, область, лежащая внутри (и на) переднем световом конусе $L'EM'$, может быть названа *абсолютным прошлым* относительно E . Область, лежащая вне обоих световых конусов, может быть названа областью *потенциальной одновременности с событием E*. Она является релятивистским аналогом всемирной одновременности ньютоновской физики.

Про события, например P и P' , которые лежат внутри светового конуса события E , следует сказать, что они находятся в *абсолютной временной последовательности*. Можно показать, что отношение в абсолютной временной последовательности является транзитивным: другими словами, если E_3 происходит абсолютно позже, чем E_2 , и если E_2 происходит абсолютно позже, чем E_1 , то E_3 происходит абсолютно позднее, чем E_1 . Эту теорему можно легко доказать с помощью рис. 15, на котором LEM является передним световым конусом события E_2 , а $L'E_2M'$ — задним световым конусом. Ясно, что если E_1 есть *любое* событие внутри $L'E_2M'$, а E_3 — *любое* событие внутри LEM , то прямая, соединяющая E_1 и E_3 , должна быть параллельна прямой, проходящей через E_2 , которая лежит внутри указанных световых конусов. Следовательно, эта прямая находится внутри соответствующих световых

гой инерциальной системы отсчета. Шредингер (E. Schrodinger, Space-Time Structure, Cambridge, 1950, p. 78) предположил, что это минимальное расстояние можно назвать *одновременным расстоянием* между E и Q .

Согласно B , любая вещь, движущаяся от E к Q , должна находиться в двух различных местах в один и тот же момент времени, поэтому ее скорость должна быть бесконечна.

¹ В случае наличия событий на световых конусах, хотя собственное время между такими событиями равно нулю, мы должны различать событие E и все другие события, находящиеся на световых конусах E . Эти события имеют место в различных местах или в абсолютном будущем, или в абсолютном прошлом относительно E .

конусов событий EI и ξ_3 . Таким образом, ξ_3 произошло абсолютно позже $E\setminus$; тем самым свойство транзитивности установлено.

С другой стороны, отношение «потенциальной одновременности» не является переходным¹, так как события EI и EZ могут быть потенциально одновременны, также могут быть одновременными и события ξ_2 и E_3 , но

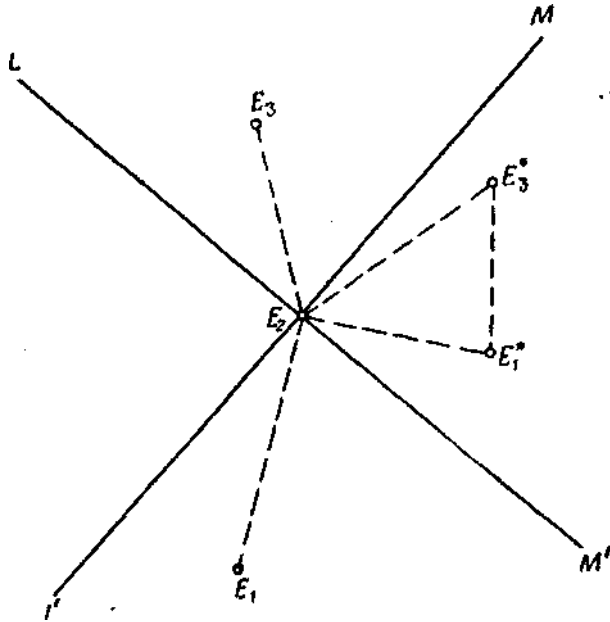


Рис. 15.

E_1 и E_3 могут находиться только в отношении абсолютного следования во времени. Эта ситуация показана на рис. 15, на котором прямая, соединяющая E_1 и ξ_3 , параллельна прямой, проходящей через ξ_2 , которая находится внутри световых конусов в ξ_2 . Следовательно, $E\setminus E_3$ находится внутри световых конусов в E_1 и ξ_3 .

На диаграмме Минковского представлена материальная частица, связанная с любым событием ξ в своей

¹ В этом отношении *потенциальная одновременность* аналогична перекрытию в случае длительностей в единичном временном опыте (см, стр. 206),

истории прямой, которая лежит (строго) внутри световых конусов события E . Любое направление от ξ внутрь этих световых конусов называется *времени-подобным*, потому что оно может представлять следование моментов времени в истории материальной частицы. Поэтому мы можем рассматривать материальную частицу, представленную на диаграмме Минковского мировой линией, которая везде является времени-подобной. Аналогично фотон (в свободном пространстве) представляется мировой линией или сегментами мировой линии, лежащей вдоль образующей светового конуса.

Мировая линия, лежащая в той части диаграммы Минковского, которая находится вне световых конусов (события ξ), называется *пространственно-подобной*, потому что она может представлять совокупность одновременных событий, с точки зрения соответствующим образом выбранного наблюдателя, который сам представлен времени-подобной мировой линией. *Имеются ли физические структуры какого-либо рода, соответствующие такой мировой линии?* Этот вопрос был много лет назад поставлен Эддингтоном. В замечательном отрывке из своей знаменитой монографии по теории относительности он пишет: «Частица материи, понимаемая как совокупность событий, является системой, у которой линейное протяжение обладает временным характером. Мы можем, пожалуй, представить себе аналогичную систему, простирающуюся вдоль пространственного пути. Это соответствовало бы представлению частицы, движущейся со скоростью, большей скорости света; но так как ее строение существенно отличалось бы от той материи, которая нам известна, то нет оснований думать, что мы могли бы ее обнаружить как частицу материи, даже если бы ее существование было возможно. Для соответственным образом выбранного наблюдателя пространственный интервал может состоять целиком из одновременных событий, и рассматриваемая система существовала бы вдоль линии в пространстве в данный момент, но вовсе не существовала бы в предыдущий и в последующий моменты. Такие мгновенные частицы должны были бы глубоко изменять непрерывный переход из прошлого в будущее. Ввиду отсутствия всяких данных о наличии таких частиц мы должны допустить, что они представляют собой системы, не могущие существовать

вовсе»¹. Отсюда Эддингтон сделал вывод о том, что, поскольку не имеется каких-либо данных для существования таких частиц, они должны быть невозможными структурами. --

До принятия такого вывода, однако, мы должны учесть замечательное свойство скоростей, превышающих скорость света, на которое обычно не обращается внимания. Хотя хорошо известно², что имеет место существенная разрывность между скоростями, не достигающими c , и скоростями, превышающими c (относительная скорость двух частиц, движущихся в том же направлении со скоростями $c + e$ и $c - e$, соответственно равна $2c^2/e$ и стремится к бесконечности при стремлении e к нулю), видимо, никто не указывал на то, что относительная скорость любых двух частиц, которые перемещаются быстрее света, *меньше* чем c . Если взять наиболее крайний случай, то можно положить, что частицы движутся в прямо противоположных направлениях со скоростями «1 и «2 соответственно. Согласно закону сложения скоростей Эйнштейна, их относительная скорость равна

$$,, \text{ — } u_1 + u_2$$

Если мы выберем систему единиц так, чтобы $c = 1$, то $u \setminus$ должно быть меньше единицы, если

Но это будет иметь место не только, когда $u_1 < 1$ и $u_2 < 1$, но и тогда, когда u_1 и u_2 превышают единицу, то есть когда они больше скорости света. Например, если «1 бесконечна³ (например, для частицы, движущейся из E в Q на рис. 14, если ее рассматривать с точки зрения наблюдателя B , ось x' системы отсчета которого распо-

¹ А. С. Эддингтон, Теория относительности, Гостехиздат, Л.—М., 1934, стр. 45.

² Там же.

³ Если и «1, и Иг имеют бесконечные значения, u_3 будет равна нулю, то есть *по отношению друг к другу* две псевдочастицы, движущиеся (по отношению к обычной частице) в противоположных направлениях с бесконечными скоростями, будут покоиться друг относительно друга. Эти «частицы» представляют собой две наложенные друг на друга «прямые» или два «луча», поэтому, может быть, вот результат не удивителен. Более неожиданным следствием яв-

ложена вдоль EQ), то, вводя снова символ $'c$, можно получить, что «3 = $c^2/2$, а отсюда $u_3 < c$, поскольку «2 > c .

Следовательно, если мы рассмотрим все мыслимые прямые мировые линии, проходящие через E (на диаграмме Минковского соответствующие частицам, которые встречаются в ξ и движутся друг относительно друга по всем направлениям со скоростями от нуля до бесконечности), мы найдем, что имеется взаимное отношение между семейством мировых линий, лежащих строго внутри светового конуса события E , и семейством мировых линий, которые лежат строго вне этих световых конусов. Для наблюдателя, связанного с любым членом первого семейства, все скорости псевдочастиц, чьи мировые линии принадлежат второму семейству, превышают скорость света, а все скорости частиц, мировые линии которых принадлежат к первому семейству, меньше скорости света. Аналогично для гипотетического наблюдателя, связанного с мировой линией второго семейства, все скорости, соответствующие мировым линиям первого семейства, больше скорости света, а все скорости, связанные с мировыми линиями его собственного семейства, меньше этой критической скорости. Согласно всем наблюдателям, связанным с членами какого-либо семейства, световые конусы будут теми же, но области, которые будут рассматриваться как соответственно «внутри» и «вне», будут зависеть от конкретного семейства, к которому принадлежит мировая линия наблюдателя, поскольку каждый наблюдатель будет рассматривать свою собственную мировую линию как лежащую *внутри* световых конусов, а мировые линии всех наблюдателей, которым он приписывает скорости, превышающие c , будут казаться ему находящимися *вне* этих конусов.

Согласно наблюдателю A , мировая линия которого принадлежит какому-либо одному из этих двух семейств, собственные времена всех частиц с мировыми линиями, находящимися на той же стороне световых конусов, на

ляется вот что: если мы представим себе две псевдочастицы, движущиеся в прямо противоположных направлениях с очень большими скоростями (значительно превышающими скорость света) по отношению к обычной частице, они будут иметь лишь очень малую скорость (пренебрежимо малую по сравнению с c) друг относительно друга!

которой находится его собственная, обязательно будут действительными, хотя они, вообще говоря, будут подвержены влиянию фактора замедления времени. Но собственное время чего-либо, когда мировая линия его лежит на другой, стороне световых конусов, будет «мнимым», то есть его квадрат будет отрицательным. С другой стороны, время, приписываемое A прохождению такого объекта между двумя событиями, например между E и Q на рис. 14, конечно, будет действительным. (Аналогично собственная длина такого объекта, видимо, для A будет мнимой, но этот наблюдатель припишет ему действительную относительную длину.)

В промежуточном случае частицы (мировая линия которой является образующей световых конусов), то есть фотона, собственное время равно нулю. Для гипотетического наблюдателя, движущегося вместе с фотоном, весь диапазон нашего времени должен пройти мгновенно, так что для него не должно даже быть

*Моментов славы, разорения,
Моментов жизни волн вкушения...*

Обычное истолкование этого любопытного результата состоит в том, что мы не можем связать «часы», то есть систему-хранителя времени, аналогичную системе, используемой A , с чем-либо, движущимся с критической скоростью света. Аналогично мы не можем связать любые такие часы с любым объектом или наблюдателем, относительная скорость которых превышает c . Как фотоны следует четко отличать от частиц вещества, так и объекты (если таковые имеются), движущиеся быстрее фотонов, не могут рассматриваться как состоящие из обычного вещества. Тем не менее факт, связанный с тем, что две области, на которые световые конуса (любого события) разделяют пространство-время, являются взаимными зеркальными изображениями друг друга, то есть что они идеально взаимны в рассмотренном выше смысле, приводит к постановке следующего вопроса: действительно ли вселенная асимметрична в том смысле, что одна область населена, а другая абсолютно пуста.

Когда Эддингтон поднял вопрос о том, может ли пространственно-подобный путь быть мировой линией чего-то, не было данных относительно возможности существования каких-либо физических объектов, отличных

от частиц обычного вещества и фотонов. Но после новаторской теоретической работы Дирака, выполненной им в 1928 году, экспериментального обнаружения позитрона (положительного электрона) в 1932 году и более поздних открытий, особенно открытия отрицательного протона в 1955 году, в настоящее время физики считают, что каждой заряженной элементарной частице обычного вещества соответствует античастица той же массы, но противоположного заряда. Причина, почему мы редко сталкиваемся с этими античастицами в обычных условиях, состоит в том, что при столкновении со своими двойниками, например когда позитрон встречается с электроном (как это рассматривалось на стр. 359), они уничтожают друг друга и порождают фотон¹. И, наоборот, при благоприятных обстоятельствах фотон может исчезать и заменяться на частицу и античастицу. Тем не менее, хотя античастицы не могут существовать после близких столкновений с обычными частицами, в принципе имеет место полная симметрия между ними обеими, так что антивещество (построенное из античастиц точно таким же образом, как обычное вещество составлено из обычных частиц), видимо, может существовать в большом количестве до тех пор, пока оно не войдет в контакт с обычным веществом. Например, звезда, составленная полностью из антивещества, не должна отличаться от обычной звезды, если ее рассматривать в телескоп. Было сделано предположение, что некоторые интенсивные источники радиоизлучения связаны с парами сталкивающихся галактик и могут быть объяснены наличием антивещества, но расчеты, проведенные на основе этого предположения, показывают, что даже и в этом случае количество обычного вещества является поразительно подавляющим². Тем не менее соображения по поводу симметрии, примененные к теориям эволюции мира, указывают, что если антивещество существует в больших количествах, то оно должно было бы превращаться в равных количествах в обычное вещество, на пример из излучения. Но если атомы и антиатомы сгустились в звезды и галактики, не уничтожая друг друга

¹ Причем сохраняются энергия, количество движения и момент количества движения.

² G. R. Burbidge, F. Hoyle, «Nuovo Cimento», 4, 1956, 558.

и испуская опять только излучение, они должны были бы удалиться друг от друга. Трудности, возникшие из представления о силе антитяготения, привели Гольдхабера¹ к рассмотрению возможности того, что первичная вселенная раскололась на две независимые области², которые разлетелись с большой относительной скоростью, причем одна область содержит вещество, а другая — антивещество. Хотя эту конкретную гипотезу нельзя принимать вполне серьезно, недавнее открытие несохранения четности во всех реакциях привело многих физиков к постановке вопроса: можно ли восстановить симметрию во всем мире, если положить существование в некоторой другой части вселенной равного количества антивещества с противоположной четностью?

С точки зрения этих последних открытий и рассуждений симметрия на диаграмме Минковского по отношению к «железному занавесу», образованному световыми конусами, наводит на мысль об аналогии с симметрией вещества и антивещества, в частности, аналогия может быть основана на том, что фотоны и в том и в другом случае играют роль посредника. Но эта аналогия, сколь бы близка она ни была, не может считаться за тождество, так как в эксперименте³, который привел к открытию антипротона, время полета между двумя сцинтилляционными счетчиками соответствовало скорости 0,78 *c*. Поэтому, вместо того чтобы связывать антивещество с «мнимым» собственным временем, мы можем лишь выдвинуть гипотезу о существовании определенного рода псевдовещества, которое может быть с ним связано. Что касается антивещества, то мы напомним гипотезу Фейнмана, согласно которой явления образо-

¹ A. Goldhaber, «Science», 124, 1956, 218.

² Мы напомним *mutatis mutandis* рассуждения Ньютона в «Вопросах» в конце «Оптики»: «И поскольку пространство делимо in infinitum и материя не необходимо присутствует всюду, постольку можно допустить, что бог может создавать частицы материи различных размеров и фигур, в различных пропорциях к пространству и, может быть, различных плотностей и сил и таким образом может изменять законы природы и создавать миры различных видов в различных частях вселенной. По крайней мере я не вижу никакого противоречия во всем этом» (И. Ньютон, Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. Изд. АН СССР, М., 1954, стр. 306).

³ O. Chamberlain, E. Segrè, C. Wiegand, T. Ypsilantis, «Phys. Rev.», 100, 1955, 947.

вания пары электрон-позитрон и аннигиляции могут быть переистолкованы на основе представления об одном электро-не, движущемся вперед и вспять¹ в обычном времени (или на основе представления об электро-не, который может в один и тот же момент времени быть более чем в одном месте). *Обе гипотезы предполагают, что во вселенной имеют место временные следования, которые не могут быть подчинены универсальному временному порядку.*

Представление о космическом времени связано² как мы видели, с общим распределением обычного вещества во вселенной. Диаграмма Минковского наводит на мысль, что может быть другая модификация или другое измерение времени, связанные с обычным космическим временем с помощью квадратного корня из отрицательной единицы, подобно тому как на диаграмме Аргана имеются две оси. Но вопрос, должно ли второе измерение быть связано с некоторой формой псевдовещества, является открытым, поскольку, хотя собственное время антивещества, видимо, является тем же самым, что и для обычной материи, с точки зрения удивительных достижений, к которым уже пришла современная физика, мы не можем более делать определенный вывод, подобный тому, который был сделан Эддингтоном, заявившим, что все пространственно-подобные траектории на диаграмме Минковского являются мировыми линиями «невозможных структур»².

¹ Между прочим, имеется точка соприкосновения гипотезы о том, что собственное время псевдовещества является «мнимым», с гипотезой Фейнмана о том, что позитрон можно рассматривать как электрон, движущийся вспять во времени — или, иными словами, с отрицательной скоростью, поскольку для наблюдателя *B*, оси (\bar{y} , x') которого расположены так, как это изображено на рис. 14, событие *Q* наступает раньше, чем событие *E* (? для *Q* является отрицательным), хотя для *A* оно наступает позже, чем *E*, то для некоторых наблюдателей частица, мировая линия которой рассматривается как идущая от *E* к *Q* (и, следовательно, вне световых конусов события *E*), будет представляться как движущаяся вспять во времени, то есть ее скорость *V* будет отрицательной (в области $-\infty < v < -c$).

² Внутренняя непротиворечивость теории относительности существенно основана на том, что невозможна передача сигнала со скоростью, превышающей *c*. Приписывание скоростей *c* псевдочастицам не должно нарушать этого принципа при условии, что невозможно использовать их в целях передачи сигналов между агрегатами обычной материи.

Гипотеза о *многомерном времени* иногда рассматривалась авторами, касавшимися основ физики. Например, в своем труде о теории относительности Эддингтон¹ поднял вопрос о том, обязательно ли пространственно-временная метрика должна быть везде локально метрикой Минковского, то есть выражена в виде

$$ds^2 = c^2 dP - dx^2 - dy^2 - dz^2.$$

Он рассматривал возможность того, что кое-где она может иметь вид

$$ds^2 = c^2 dt^2 + dx^2 - dy^2 - dz^2,$$

и утверждал, что это изменение должно происходить в переходной области, где

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dy^2 - dz^2.$$

В этой области пространство должно быть двухмерным, но прохождению через эту область не должны препятствовать какие-либо барьеры. Тем не менее условия в дальней области, где время становится двухмерным, «не поддаются воображению». Наконец, в своей последней книге² Эддингтон утверждал, что, согласно его теории, «ураноид» (сглаженная вселенная), составленный целиком из заряженных элементарных частиц, должен занимать трехмерное пространство и двухмерное время, и он заметил, что этот «с огромным трудом представляемый» результат не удивителен, потому что рассмотренная гипотетическая система находится совершенно вне опыта³. Поэтому рассмотрение Эддингтона было, если использовать выражение его самого, лишь «теоретическим упражнением». Но совсем недавно Бунге⁴ ввел в теорию электрона комплексное время $t + it$, где / обозначает обычную переменную времени (которую он называет «затравочным временем»), а t обозначает по-

стоянное затравочное время порядка 10^{-21} секунды' (которое он трактует как период спина электрона).

Тем не менее имеется существенное различие между этими идеями о многомерном времени и нашим анализом мировых линий на диаграмме Минковского. Несмотря на то что t , введенное Бунге, не является переменной, и Эддингтон, и Бунге рассматривают двухмерное время, тогда как мы просто рассматривали два измерения собственного времени, которые, хотя внутренне и сходны, не сочетаются друг с другом и остаются существенно различными. По этой причине, видимо, предпочтительнее говорить о них как о различных *модификациях* одномерного времени, о взаимных зеркальных отображениях их, если таковые имелись бы, в *существенно безвременных* световых конусах.

7. ПРОНИКНОВЕНИЕ И ПРИРОДА ВРЕМЕНИ

Хотя мы отвергаем точку зрения Брэдли (и других идеалистических философов) о том, что время не имеет в конце концов смысла, наш анализ пространственно-подобных траекторий на диаграмме Минковского помогает нам понять его точку зрения, согласно которой мы не можем автоматически считать, что явления существуют, если только они находятся во временном отношении с нашим миром. «Поскольку, — пишет Брэдли, — не имеется обоснованных возражений против существования любого числа независимых временных рядов, внутренние события в них должны были быть связаны во временном отношении, но каждый из этих рядов, как ряд и как целое, не должен был бы иметь временной связи с чем-либо вовне. Я имею в виду, что во вселенной мы могли бы иметь в виду совокупность различных последовательностей явлений. События в каждой из них должны, конечно, быть связаны во времени, но ряды как таковые не нуждаются во временных отношениях друг к другу»².

¹ Оно равно $A/4\pi\hbar c^2$, где \hbar — постоянная Планка, m — масса электрона.

² F. H. Bradley, *Appearance and Reality*. 2nd. ed., London, 1902, p. 211.

¹ А. С. Эддингтон, Теория относительности, стр. 48.

² A. S. Ed dington, *Fundamental Theory*, Cambridge, 1946, p. 126.

³ Макроскопическая материя, даже если ее представлять как в высшей степени заряженную, в действительности электрически почти нейтральна, поскольку отношение числа протонов и числа электронов, содержащихся в ней, очень близко к единице; например «отклонение в 1 на 10^{10} находится вне разумной возможности».

⁴ M. Bunge, «Nuovo Cimento», 1, 1955, 977.

Брэдли не рассматривал мировых линий на диаграмме Минковского, но обратил внимание на следование во времени снов: у каждого есть свои собственные внутренние временные связи, но если рассматривать последовательность одного и другого вместе, они, видимо, не имеют никакого общего единства во времени. Тем не менее, хотя это представляется в общем правильным, часто высказывались утверждения, в частности недавно Данном, что иногда во сне будущие события из нашей жизни наяву ощущаются, как представления о будущем. Для объяснения этих и других якобы мнимых явлений проникновения¹ он сформулировал теорию «сериального», или многомерного времени. Это явилось остроумным развитием гипотезы, впервые выдвинутой Хинтоном² и состоящей в том, что мир является четырехмерным пространственным многообразием, а частицы являются «нитями» в нем. Человеческие существа только перцепторно отдают себе отчет в любой момент времени о трехмерном поперечном сечении этого многообразия, но по мере течения времени они становятся способны отдать себе отчет в различных поперечных сечениях, так что в действительности они, видимо, «перемещаются» в четвертом измерении. Это «передвижение», однако, является лишь постепенной передачей осознания одному поперечному сечению после другого, причём создается иллюзия, состоящая в том, что имеется трехмерный мир, длящийся во времени, и что его части находятся в движении. Согласно этой гипотезе, мир статичен, а иллюзия времени возникает из непрерывного изменения внимания наблюдателя.

Однако Данин понял, что этот непрерывный перенос внимания сам по себе является временным процессом и поэтому он не требует наличия времени в качестве необходимого условия его собственного проявления³. Для объяснения этого времени он постулировал, что многообразие имеет пятое пространственное измерение и что второе сознание «перемещается» по нему. Но, поскольку теперь те же трудности снова все разбивают, он был вынужден постулировать бесконечное число допол-

нительных измерений и соответствующее число наблюдателей. Проникновение в таком мире возможно вследствие нереальности времени. Все уже выложено перед нами, и проблема сводится к проблеме познания.

Теория Данина была подвергнута критике Бродом¹, который в конце концов показал, что содержащейся в ней дурной бесконечности вполне можно избежать. Вместо ошибочных утверждений, из которых как бы следует, что время само является процессом во времени, и поэтому оно может быть исключено лишь путем введения бесконечного числа пространственных измерений и гипотетического наблюдателя на бесконечности, «долженствующего просто быть последним членом последовательности, которая, согласно гипотезе, не могла иметь последнего члена», Брод отважился объяснить проникновение и «временное смещение» (как заключенное в многочисленных экспериментах в области сверхчувственного восприятия) путем постулирования двухмерного времени². Его предложение состояло в том, что, хотя событие a предшествует β в знакомом временном измерении, β может предшествовать a в другом временном измерении. Следовательно, если бы a было проникновенным впечатлением события β , то было бы разумным высказывание о том, что β определяет a .

Гипотеза Брода была благожелательно, но остро раскритикована Прайсом³, который утверждал, что она заставляет нас ввести головоломное понятие «двойного теперь», так как «теперь» в одном отношении могло бы быть «прошлым» или «еще нет» в другом. Хуже всего то, что она влечет за собой даже еще более любопытное понятие «частичного становления». Представьте себе, что я проникаю в будущее и постигаю событие, которое должно произойти в следующую субботу. В одном отношении это событие еще не перешло в бытие: оно еще будущее и еще не существует. Но в другом отношении оно является прошлым и, таким образом, *перешло* в бытие. Оно, так сказать, *полуреально*; оно *частично наступило*, но не полностью. Когда наступает следующая

¹ Проникновение определяется как «знание о будущих событиях, не выводимое на основе умозаключений».

² С. Н. Хинтон, What is the Fourth Dimension? London, 1887.

³ J. W. Dunne, An Experiment with Time, London, 1927.

¹ C. D. Broad, «Philosophy», 10, 1935, 168.

² C. D. Broad, Aristotelian Society, Supplementary Vol. XVI, 1937, p. 177 и далее.

³ H. N. Price, Aristotelian Society, Supplementary Vol. XVI, 1937, p. 211 и далее.

суббота, но не раньше, оно второй раз переходит в бытие и становится тогда полностью действительным. Но будет ли оно? Ведь эти обе половины его бытия, так сказать, идут не «в ногу», поскольку, когда оно начинает быть в одном измерении времени, оно уже будет в далеком прошлом в другом измерении!

Тиррел¹ обратил внимание на другую интересную гипотезу, выдвинутую Солтсмаршем. Понимая, что фундаментальный процесс сверхчувственного восприятия происходит не на уровне сознания, а на подсознательном уровне (то есть ниже порога сознательности), Солтсмарш предполагает, что внешне ощущаемое настоящее подсознательного ума может покрыть значительно более длительный период, чем это настоящее сознательного ума². Следовательно, в сосуществующем настоящем подсознательного ума может существовать знание о двух событиях, одно из которых по отношению к сознанию должно быть в будущем. Поэтому, если знание любого события в подсознательном внешне воспринимаемом настоящем могло бы перейти к сознанию, должно быть возможно для сознающего «я» отдать отчет о событии, которое по отношению к нему было бы в будущем.

Как указывал Тиррел, эта теория не объясняет, как будущее событие может непосредственно предчувствоваться до того, как оно произойдет. Во избежание этой трудности он утверждал, что не все, что случается в мировом порядке, нам знакомо. Природа не кончается там, где наши чувства прекращают ее регистрировать и наши умы перестают быть способными схватывать ее.

¹ Q. N. M. Tyrrell, *The Personality of Man*, London, 1946, p. 94.

² «Имеются некоторые основания предполагать, что длительность внешне ощущаемого настоящего может изменяться при определенных обстоятельствах, например при сосредоточении внимания, усталости, гипнозе и влиянии наркотиков, например *cannabis indica*; поэтому нет априорных возражений против утверждения о том, что длительность подсознательно внешне воспринимаемого настоящего может быть больше длительности нормального сознания» (H. F. Saltmarsh, *Foreknowledge*, London, 1938, p. 97). Что касается *сознательного* «внешне воспринимаемого настоящего», можно упомянуть, что Доббс (H. A. C. Dobbs, «*Brit. J. Phil. Sci.*», 2, 1951, 122 и далее, 184 и далее) сформулировал двухмерную теорию: событие, которое не имеет протяженности в «переходном времени», протяженно («внешне воспринимаемое настоящее») в «фазовом времени».

Тиррел предположил, что, как в телепатии подсознательные «я» субъектов *A* и *B* находятся в своего рода познавательном отношении, которое передается через пространство, так и в проникновении познавательное отношение преодолевает время¹.

«Очень трудно, — пишет он, — противостоять точке зрения, согласно которой подсознательное «я» существует вне временных условий, поскольку мы их знаем, или по крайней мере существует в ином виде времени. Время, насколько мы знаем его, может быть специальным условием, приложимым лишь к физическому миру или к нашему осознанному восприятию его»². Но этим пространственным рассуждением мы должны закончить дискуссию по данному вопросу.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В начале этой книги я говорил, что история естественной философии характеризуется взаимодействием двух соперничающих философий времени: одна из них ставит своей целью его «исключение», а другая основана на вере в его первичность и несводимость.

Центральным пунктом дискуссии является статус «становления» или совершающегося, а также прошлого, настоящего и будущего; другими словами, тех черт времени, для которых не имеется пространственных аналогов. Согласно Канту, время (как и пространство) относится лишь к воспринимаемому, а не к вещам в себе. Согласно Мактагарту, ряды, которые сами по себе являются невременными, представляются нам как временные: в принципе одна и та же совокупность объектов вечно находится «там», причем единственное изменение происходит в нашем сознании от меньшей (и более запутанной) к большей (и более ясной) осведомленности.

¹ Тиррел считает, что не только данные о проникновении, но также и явления наития и мистицизма указывают, что подсознательное «я» обладает чем-то большим, подобным всеосведомленности, по сравнению с тем, чем располагает сознающее «я». Следовательно, он рассматривает сознающий ум как стремящийся «влииться во временную последовательность мыслей, которая, видимо, присутствует в подсознательном «я» в виде всецелости» (там же, стр. 96).

² G. N. M. Tyrrell, *op. cit.*, p. 96.

Эти точки зрения философов-идеалистов сходны с точками зрения многих современных ученых, которые полагают, что время ни первично, ни несводимо. Эту параллель явно понял Гёдель, который рассматривает свойство диаграммы Минковского, состоящее в том, что имеется большой класс событий, для которых, видимо, не существует объективных упорядочивающих во времени отношений как «однозначное доказательство» взглядов таких философов, как Парменид, Кант и современные идеалисты, отрицающих объективность изменения и рассматривающих его как иллюзию, или видимость, обусловленную нашим конкретным способом восприятия¹.

Для тех, кто отрицает «реальность» времени или кто, подобно Больцману и Рейхенбаху, пытается доказать, что оно является производным понятием невременного происхождения, мы можем ответить словами Лотце, что «мы должны либо допустить становление, либо объяснить становление нереальной видимости становления»², а без невяного обращения к становлению это невозможно. Ведь если бы не совершались некоторые *реальные* временные переходы, как могло бы возникнуть представление о них? А тем, кто верит в «клочковатую вселенную», мы можем поставить следующий вопрос: если события вечно находятся «там», а мы просто пересекаем их, как приобретаем мы иллюзию о времени, не предполагая, что она проистекает из наличия времени? Наоборот, мы обладаем способностью временного понимания последующих фаз чувственного опыта потому, что наши умы приспособлены к миру, в котором мы живем, а он является постоянно изменяющимся миром с универсальным основным ритмом. Следовательно, каждый наблюдатель, связанный с фундаментальной системой отсчета, определяемой локальным средним движением материи, имеет единственную шкалу собственного времени, а любой наблюдатель, движущийся относительно локальной фундаментальной системы отсчета, испытывает соответствующее замедление времени (которое значительно лишь тогда, когда его скорость составляет значительную долю скорости света).

¹ K. G ö d e l, Albert Einstein: *Philosopher-Scientist* (ed. P. A. Schupp), Evanston, 1949, p. 555.

* H. L o t z e. *Metaphysics*, p. 105.

Наше фактическое восприятие времени является сложным процессом. Ниже уровня сознания тикают неслышимые часы клеточной и физиологической активности, достигающие своего апогея в альфа-ритме коры головного мозга. Но наш осознанный отчет о временных явлениях включает также и психологические факторы; в нем господствует *темп* нашего внимания, а он приобретает учебой. Первичной функцией умственной деятельности является проникновение в будущее и предвидение события, которое почти произошло. Наше распознавание прошлого, видимо, является относительно поздним продуктом эволюции человека, поскольку связанная память как раз не является простым повторным возбуждением умственных следов, а зависит от воссоздания событий с помощью воображения, и, может быть, вначале было тесно связано с изобретением языка.

Становится все более и более очевидным, однако, что из традиционных подразделений времени настоящее является наиболее сложным. Простое всемирное лезвие ножа «теперь» в том виде, в каком оно существовало в воображении Ньютона, является недостаточным по крайней мере по пяти соображениям.

(1) Ясно, что мысленное настоящее не является строго непротяженным мгновением; и, хотя психологическое понятие о внешне познаваемом настоящем было подвергнуто критике по причине некоторой расплывчатости его области и содержания, основная идея должна быть принята. Прямолинейный континуум точечных моментов времени, возникший под влиянием использования времени как переменной в математической физике, может быть построен из перекрывающихся длительностей перцепторного времени лишь при введении определенных гипотез о непрерывности и поэтому должен рассматриваться как логическая абстракция, подобная прямой линии в геометрии.

(2) При анализе фактических явлений природы мы находим некоторые основания для рассмотрения физического времени как не поддающегося неопределенно длительному делению на все более и более малые составные части. Хотя эту идею еще следует рассматривать как нечто спекулятивное, хронон, равный примерно Ю⁻²⁴ секунды, может оказаться окончательным атомом времени. Если это окажется так, то любая длительность

может буквально рассматриваться как дискретное число в смысле Пифагора — Аристотеля.

(3) Хотя теоретики-космологи ввели представление о космическом времени как экстраполяцию «на весь мир» субъективного «теперь» наблюдателя, оно может и не быть всеобъемлющим. Ведь если расширение вселенной не однородно, то может иметь место очевидный горизонт времени, то есть могут происходить события, которые не могут быть включены, даже в принципе, в область заданного наблюдателя, как бы далеко в будущее ни простиралась его шкала времени.

(4) В квантовой физике настоящее является решающим моментом при взаимодействии наблюдателя и наблюдаемого, причем будущее состояние является математической конструкцией, которая может быть изменена путем наблюдения.

(5) Область «потенциальной одновременности» на диаграмме Минковского является более тонким и более богатым понятием, чем его ньютоновский аналог. В частности, он может содержать мировые линии структур, которые, хотя и не отождествимы с составными частями обычной материи, могут быть, однако, связаны с каким-то видом существующего. Если это так, то мы должны рассматривать их собственное время как простирающееся в ином измерении, чем наше.

На субатомном уровне может и не быть последовательного направления времени, и, таким образом, время в том виде, в каком мы обычно понимаем его, может быть существенно макроскопическим явлением. Остается открытым следующий вопрос: означают ли доводы в пользу проникновения, что имеются связи между событиями, которые пересекают это время. Каково бы ни было объяснение этого факта, оно не может быть основано на дурной бесконечности, скрытой в ложном предположении, что происхождение события само по себе уже является другим событием. С другой стороны, представление о том, что время первично и несводимо, не должно нас толкать в объятия гипотезы, согласно которой оно абсолютно, поскольку моменты времени не существуют самостоятельно, а являются просто классами сосуществующих событий. Вместе с тем время не является таинственной иллюзией интеллекта. Оно является существенным свойством вселенной.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| <i>Предисловие</i> | 7 |
| I. Универсальное время | 9 |
| 1. «Устранение» времени | 9 |
| 2. Направленность и симметричное время | 14 |
| 3. Необратимые явления | 20 |
| 4. Эволюция | 22 |
| 5. Начало течения времени | 31 |
| 6. Время и вселенная | 40 |
| 7. Абсолютное время | 47 |
| 8. Относительное время | 52 |
| 9. Циклическое время | 56 |
| 10. Шкала времени | 58 |
| II. Индивидуальное время | 64 |
| 1. Идея времени | 64 |
| 2. Психологический источник идеи времени | 69 |
| 3. Социологическое развитие идеи времени | 72 |
| 4. Биологическое время (I). | 79 |
| 5. Биологическое время (II). | 86 |
| 6. Сознательное понимание и суждение о времени | 94 |
| 7. Психическое настоящее | 102 |
| 8. Память и понятие прошлого | 109 |
| 9. Время и психология памяти | 117 |
| 10. Время и физиология памяти | 127 |
| И. Время, память и тождество личности | 145 |
| III. Математическое время | 150 |
| 1. Время и число | 150 |
| 2. Время, геометрия и переменная | 156 |
| 3. Время и математический анализ | 166 |
| 4. Апории Зенона (I). | 174 |
| 5. Апории Зенона (II). | 185 |
| 6. Атомарность времени | 197 |
| 7. Математическое время как тип последовательного порядка | 203 |
| 8. Измерение времени | 218 |

| | |
|--|------------|
| IV. Релятивистское время | 227 |
| 1. Опытное время и логическое время. | 227 |
| 2. Определение времени на расстоянии (I). | 236 |
| 3. Определение времени на расстоянии (II). | 248 |
| 4. Соотношение временных перспектив | 258 |
| 5. Замедление времени. | 269 |
| 6. Парадокс часов | 276 |
| V. Пространство-время и космическое время | 287 |
| 1. Пространство-время и геометрия. | 287 |
| 2. Пространство-время и время. | 297 |
| 3. Космическое время и расширяющаяся вселенная (I) | 304 |
| 4. Космическое время и расширяющаяся -"вселенная (II). | 312 |
| 5. Существование космического времени. | 328 |
| 6. Пределы космического времени. | 334 |
| VI. Природа времени | 343 |
| 1. Обращение времени и асимметрия времени | 343 |
| 2. Причинная теория времени. | 346 |
| 3. Статистическая теория времени (I). | 353 |
| 4. Статистическая теория времени (II). | 363 |
| 5. «Становление» и природа времени. | 369 |
| 6. Диаграмма Минковского и природа времени | 379 |
| 7. Проникновение и природа времени. | 393 |
| 8. Заключение. | 397 |

Издательство УРСС

специализируется на выпуске учебной и научной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской Академии Наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений.

Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Основываясь на широком и плодотворном сотрудничестве с Российским фондом фундаментальных исследований и Российским гуманитарным научным фондом, мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие.

Пенроуз Р. Новый ум короля. Компьютеры, мышление и законы физики.

Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории.

Рейхенбах Г. Философия пространства и времени.

Аксенов Г. П. Причина времени.

Канке В. А. Формы времени.

Пригожий И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.

Пригожий И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени.

Пригожий И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках.

Везен Ф., Федые Ф. Философия французская и философия немецкая; Воображаемое. Власть.

Лакофф Дж., Джонсон М. Метафоры, которыми мы живем.

Попов Н. Н. Новые представления о структуре пространства-времени и проблема геометризации материи.

Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика.

Альбер Х. Трактат о критическом разуме.

Шишков И. З. В поисках новой рациональности: философия критического разума.

К. Поппер. Все люди — философы. Под ред. *Шишкова И. З.*

Вигнер Э. Инвариантность и законы сохранения. Этюды о симметрии.

Режабек Е. Я. Когнитивность мифа.

Бабанин А. Ф. Введение в общую теорию мироздания. Понятийный аппарат и физические основы мироздания.

Зубов В. П. Аристотель. Человек. Наука. Судьба наследия.

Серия «*Bibliotheca Scholastica*». Под общ. ред. *Апполонова А. В.* Билингва: параллельный текст на русском и латинском языках.

Вып. 1. *Бозций Дакиский. Сочинения.*

Вып. 1. *Фома Аквинский. Сочинения.*

Вып. 3. *Уильям Оккам. Избранное.*

Вып. 4. *Гроссетест Р. Избранное.*

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
 тел./факс (095) 135-44-23, тел. 135-42-46
 или электронной почтой urss@urss.ru.
 Полный каталог изданий представлен
 » Интернет-магазине: <http://urss.ru>

Издательство УРСС

Научная и учебная
литература