

ОГЛАВЛЕНИЕ

АНТОН ФОМИН. КНИГА ПИТЕРА ГАЛИСОНА «ЧАСЫ ЭЙНШТЕЙНА, КАРТЫ ПУАНКАРЕ» В ИНТЕРЬЕРЕ ФИЛОСОФСКОЙ МЫСЛИ О ВРЕМЕНИ . . .	7
СЛОВА БЛАГОДАРНОСТИ	42
ГЛАВА 1. СИНХРОННОСТЬ	44
Времена Эйнштейна	46
Критическая опалесценция	62
Порядок аргументации	80
ГЛАВА 2. УГОЛЬ, ХАОС, КОНВЕНЦИЯ	89
Уголь	97
Хаос	107
Конвенция	124
ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ КАРТА МИРА	134
Стандарты пространства и времени	134
Времена, поезда и телеграфы	152
Маркетинг времени	163
Метрологическое общество	171
Овременение пространства	191
Борьба за нейтралитет	212
ГЛАВА 4. КАРТЫ ПУАНКАРЕ	227
Время, разум, нация	227
Децимализация времени	234
О времени и картах	251
Экспедиция в Кито	270
Эфирное время	280
Троичная констелляция	296

ГЛАВА 5. ЧАСЫ ЭЙНШТЕЙНА	309
Материализация времени	309
Генераторы теорий	317
Патентные истины	337
Часы в первую очередь	362
Эйфелево радио	374
ГЛАВА 6. МЕСТО ВРЕМЕНИ	401
Без механики	401
Две современности	413
Смотря вверх, смотря вниз	434
БИБЛИОГРАФИЯ	443

Глава 1

Синхронность

ПОДЛИННОЕ время не может быть явлено с помощью простых часов — в этом Ньютон был твердо убежден. Даже лучшая работа часового мастера — это только бледный образ высшего, абсолютного времени, которое принадлежит не нашему человеческому миру, но «чувствилицу Бога». Приливы, планеты, спутники — все, что движется или изменяется во Вселенной, таково, полагал Ньютон, по отношению к единой, постоянно текущей реке времени. В электротехническом мире Эйнштейна не было места для подобного «повсеместно слышимого тик-так», которое мы можем назвать временем, не было другого способа осмысленно определить время, кроме как по отношению к какой-либо системе взаимосвязанных часов. Время течет с разной скоростью для системы часов, находящейся в движении, по сравнению с другой, покоящейся: два события, одновременные для наблюдателя, принадлежащего системе координат покоящихся часов, не являются одновременными для наблюдателя, который находится вместе со своими часами в движении. «Времена» вытесняют «время». Тем самым было подорвано надежное основание ньютоновской физики; Эйнштейн не строил на этот счет никаких иллюзий. В конце жизни он вставил в свои автобиографические заметки откровенное и эмоциональное обращение к сэру Исааку,

словно разделяющие их века вдруг исчезли; размышляя над абсолютностью пространства и времени, которые разрушила его теория относительности, Эйнштейн писал: «Ньютон, прости меня (Newton, verzeih' mir); ты нашел единственный путь, который был возможен в твоё время для человека высочайшей мысли и творческой силы»¹.

В центре этого радикального переворота в понимании времени лежит необычная, но все же прозрачно сформулированная идея, пребывавшая в слепой зоне для физики, философии и техники того времени: *для того чтобы говорить о времени, об одновременности на расстоянии, вы должны синхронизировать свои часы. Если вы хотите синхронизировать двое часов, вы должны начать с одних, послать световой сигнал по направлению к другим и внести поправку на время, которое потребуется световому сигналу для преодоления данного пути.* Что может быть проще? Отныне с этим процедурным определением времени последний элемент пазла относительности нашел свое место, изменив физику навсегда.

Эта книга — о процедуре координации часов. Простой, как кажется на первый взгляд, объект нашего исследования — координация часов — является как высокой абстракцией, так и производственной конкретностью. Материализация одновременности, реализованная на рубеже веков, происходила в мире, существенно отличающемся от нашего сегодняшнего. Это был мир, в котором высочайшие достижения теоретической физики соседствовали с новой пылкой амбицией: проложить через всю планету несущие время кабели с целью согласования движения поездов и приведения

¹ *Einstein. Autobiographical Notes. [1949]. P. 31. Об универсальном «тик-так» см.: Einstein. The Principal Ideas of the Theory of Relativity. [After December 1916] // Einstein. Collected Papers. Vol. 7. P. 1–7 (особенно p. 5). О ньютоновском понимании времени и пространства см.: Rynasiewicz. By Their Properties, Causes and Effects: Newton's Scholium on Time, Space, Place and Motion. 1995.*

в порядок географических карт. Это был мир, в котором инженеры, философы и физики работали бок о бок; в котором мэр Нью-Йорка рассуждал о конвенциональности времени, император Бразилии ждал на берегу океана прибытия по телеграфу европейского времени, а два выдающихся ученых столетия, Альберт Эйнштейн и Анри Пуанкаре, расположили одновременность на пересечении физики, философии и техники.

ВРЕМЕНА ЭЙНШТЕЙНА

Благодаря своему нескончаемому эху статья Эйнштейна 1905 г. о специальной теории относительности «К электродинамике движущихся тел» стала самой знаменитой работой по физике XX в. Отличительной особенностью данной работы стало разрушение концепции абсолютного времени. Аргументация Эйнштейна, по крайней мере, в расхожем ее понимании, так радикально отличалась от старого, практически ориентированного подхода классической механики, что эта статья стала примером революционной теории — спекулятивной концептуализации мира, принципиально свободной от эмпирических или материалистических коннотаций. Частично философское, частично физическое, эйнштейновское переосмысление одновременности образовало непреодолимую пропасть между современной физикой и всеми прежними теоретическими конструкциями времени и пространства.

Эйнштейн начинает свою статью об относительности с заявления о том, что в общепринятой интерпретации электродинамики наличествует некоторая асимметрия. Асимметрии же не существует в природе. Едва ли не все физики в 1905 г. разделяли идею о том, что световые волны, как и волны на воде или звуковые волны, должны колебаться в чем-то. В случае световых волн (или осциллирующих электрических и магнитных полей, которые создают свет) этим

нечто был всеобъемлющий *эфир*. Большинство физиков конца XIX в. считали эфир одной из величайших идей эпохи и надеялись, что однажды по-настоящему осмысленная, интуитивно понятная и математизированная концепция эфира приведет науку к единой картине реальности: от тепла и света к магнетизму и электричеству. Именно эфир и породил асимметрию, которую разрушил Эйнштейн².

В традиционной интерпретации физиков, писал Эйнштейн, движущийся магнит, притягивая покоящуюся в эфире катушку, вырабатывает ток, неотличимый от тока, генерируемого в том случае, когда движущаяся катушка притягивает покоящийся в эфире магнит. Сам же эфир не может быть наблюдаем. Таким образом, по мнению Эйнштейна, существовал только один наблюдаемый феномен: катушка и магнит сближаются, вырабатывая ток в катушке (свидетельством чему является горящая лампочка). Но вариант электродинамики, который существовал на тот момент (теория, которая включала уравнения Максвелла, описывая динамику электрических и магнитных полей, и закон механическо-

² Сегодня мы можем прочесть труды Эйнштейна через призму выдающихся наработок нескольких поколений историков. Эта литература настолько обширна, что я сошлюсь здесь только на несколько источников, которые могут послужить отсылками к более широкой библиографии, включающей в себя как роскошные редакторские комментарии, так и документалистику: Collected Papers / Stachel et al. (eds). 1987–; вторичные источники: Holton. Thematic Origins of Scientific Thought. 1973; Miller. Einstein's Special Theory of Relativity. 1981; Miller. Frontiers. 1986; Darrigol. Electrodynamics. 2000; Pais. Subtle is the Lord. 1982; Warwick. Role of the Fitzgerald-Lorentz Contraction Hypothesis. 1991; Warwick. Cambridge Mathematics and Cavendish Physics. Part I. 1992; Part II. 1993; Paty. Einstein philosophe. 1993; Janssen. A Comparison between Lorentz's Ether Theory and Special Relativity in the Light of the Experiments of Trouton and Noble (неопубликованная диссертация). University of Pittsburgh, 1995; Fölsing. Albert Einstein. 1997. Сборники сочинений ведущих исследователей по теме см.: Einstein in Context // Science in Context. 1993. No. 6; см. также: Galison, Gordin, Kaiser. Science and Society. 2001. Более обширная библиография других исторических работ по специальной теории относительности: Cassidy. Understanding. 2001.

го взаимодействия постоянных токов³, который предсказывал, как заряженная частица будет двигаться в этих полях), давал два разных объяснения того, что происходило. Всё зависело от того, что находилось в движении относительно эфира: катушка или магнит. Если двигалась катушка, а магнит оставался в эфире неподвижным, уравнения Максвелла показывали, что, проходя через магнитное поле, на электричество в катушке воздействовала некоторая сила. Эта сила гоняла электрический заряд по катушке, зажигая лампочку. Если двигался магнит, а катушка оставалась неподвижной, объяснение менялось. Так как магнит притягивал катушку, магнитное поле рядом с катушкой усиливалось. Это изменение магнитного поля (согласно уравнениям Максвелла) производило электрическое поле, которое гнало электрический заряд вокруг неподвижной катушки и зажигало лампочку. Таким образом, стандартизированная теория давала *два* разных объяснения в зависимости от точки зрения наблюдателя, рассматривающего ситуацию в одном случае со стороны магнита, а в другом — со стороны катушки.

Согласно новому варианту постановки проблемы, сформулированному Эйнштейном, существовал *один*-единственный феномен: катушка и магнит притягивались друг к другу, зажигая лампочку. В его понимании, *один* наблюдаемый феномен требовал ровно *одного* объяснения. Задачей Эйнштейна было выработать единое видение, которое не ссылалось бы больше на эфир и вместо двух описанных систем отсчета (в одном случае с движущейся катушкой, в другом — с магнитом) учреждало бы одну перспективу, представляющую *один*-единственный феномен. На кону, согласно Эйнштейну, был основополагающий принцип физики — относительность.

Почти за 300 лет до этого Галилей проводил похожие исследования систем отсчета. Воображая наблюдателя в ма-

³ Закон Ампера. — *Примеч. пер.*

ленькой каюте корабля, движущегося по морю с ограниченным кругозором, Галилей заключил, что ни один эксперимент, проводимый в подпалубной лаборатории, не обнаружил бы движение корабля: рыба плавает в тазу так, как если бы этот таз стоял на земле; падающие капли не отклоняются от своей прямолинейной траектории по отношению к полу. Попросту не было способа воспользоваться каким-либо разделом механики для определения того, когда каюта находилась «действительно» в покое или «действительно» в движении. Это положение, отстаиваемое Галилеем, стало основной чертой той механики падающих тел, в создании которой он принимал участие.

Основываясь на этом традиционном использовании принципа относительности в механике, Эйнштейн в своей работе 1905 г. возвел принцип относительности в закон, утверждая, что физические процессы не зависят от равномерно движущейся системы отсчета, в которой они происходят. Эйнштейн хотел охватить принципом относительности не только механику падающих капель, скачущих мячей и сжимающихся и растягивающихся пружин, но также мириады эффектов электричества, магнетизма и света.

Этот постулат относительности («невозможно определить, какая неускоренная система отсчета “действительно” находилась в покое») породил новое предположение, которое оказалось еще более неожиданным. Эйнштейн заметил, что эксперименты не демонстрируют движение света со скоростью, превышающей 300 тыс. км в секунду. Тогда он *постулировал*, что так происходит всегда. Свет, сказал Эйнштейн, всегда движется с постоянной скоростью — 300 тыс. км в секунду — *независимо от того, с какой скоростью движется источник света*. Это, конечно же, шло вразрез с поведением повседневных объектов. Поезд приближается, и проводник выбрасывает мешок с почтой в направлении станции; он летит, с точки зрения наблюдателя, стоящего на платформе, со скоростью поезда *плюс* та ско-

рость, с которой проводник обычно швыряет почту. Эйнштейн же настаивал, что в случае с движением света дело будет обстоять иначе. Представьте, что мы с вами стоим неподвижно друг напротив друга и вы обращаете свет вашего фонаря в мою сторону. Я буду видеть движение светового луча по направлению ко мне со скоростью 300 тыс. км в секунду. Но фонарь, установленный на несущемся по направлению ко мне поезде, движущемся пусть даже со скоростью 150 тыс. км в секунду (половина скорости света), будет излучать свет, скорость которого будет регистрироваться мной все равно как 300 тыс. км в секунду. Согласно второму постулату Эйнштейна, скорость источника света не влияет на скорость света.

Оба эти постулата показали бы допустимыми (по крайней мере, частично) современникам Эйнштейна. В механике не только принцип относительности был известен со времен Галилея, но в течение нескольких лет Пуанкаре (среди прочих) также анализировал проблемы и перспективы принципа относительности в электродинамике⁴. Если бы свет был простым колебанием волн в неподвижном, всеобъемлющем эфире, тогда в системе координат, в которой

⁴ Работы, посвященные Пуанкаре, также разнообразны. В последнее время набирает обороты проект создания архива Анри Пуанкаре, базирующийся в Нанси, который публикует его научную переписку. См., напр., Poincaré — Mittag-Leffler / Nabonnand (ed.). 1999; опубликованные статьи в основном относятся к *Poincaré. Oeuvres. 1934–1953*. Обзор современной литературы по техническим работам Пуанкаре можно найти в предшествующем примечании (особенно это касается работ Дэрригола и Миллера) вместе со ссылками, приведенными там, а также работы Пэти (Paty) о взаимосвязи физики и философии Пуанкаре; см. также превосходную книгу: Henri Poincaré, *Science and Philosophy* / Greffe, Heinzmann, Lorenz (eds). 1996. Отличная диссертация Ролле (Rollet) посвящена рассмотрению роли Пуанкаре в качестве популяризатора и философа (она также содержит прекрасную библиографию); см.: Henri Poincaré, *Des Mathématiques à la Philosophie. Études du parcours intellectuel, social et politique d'un mathématicien au début du siècle* (неопубликованная докторская диссертация). University of Nancy 2, 1999.

эфир находился в состоянии покоя, можно было бы предположить, что скорость света не будет зависеть от источника света. В конце концов, при умеренной скорости источника скорость звука не зависит от скорости источника: как только звуковая волна была произведена, она движется сквозь воздух с определенной скоростью.

Но как могли бы быть согласованы между собой оба эти постулата Эйнштейна? Предположим, в покоящейся системе эфира вспыхивает свет. Разве для наблюдателя, *движущегося* в отношении эфира по направлению к источнику света или в противоположную от него сторону, свет не будет казаться движущимся быстрее или медленнее нормы? А если различие в скорости света наблюдаемо, разве это не будет нарушать принцип относительности, поскольку такое наблюдение будет показывать подлинное движение по отношению к эфиру? Однако ни одно подобное различие не было зафиксировано. Даже точнейшим оптическим экспериментам не удалось обнаружить и малейшего намека на движение сквозь эфир.

Диагноз Эйнштейна: «недостаточно внимания» уделялось наиболее основополагающим понятиям физики. Он утверждал, что, если бы эти основные понятия были правильно поняты, очевидное противоречие между принципами относительности и постоянства скорости света исчезло бы само собой. Эйнштейн предложил поэтому начать с азов физического рассуждения, вопрошая о том, что есть длина, что есть время, и особенно, что есть одновременность. Общеизвестно, что физика электромагнетизма и оптика зависят от измерений времени, длины и одновременности, но, по мнению Эйнштейна, физики не уделяли должного внимания основным процедурам, благодаря которым получались эти фундаментальные показатели. Как могли бы линейки и часы производить точно выраженные пространственные и временные координаты для феноменального мира? На взгляд Эйнштейна, господствующая точка зрения, что физи-

ки должны озаботиться прежде всего комплексом сил, удерживающих материю в единстве, есть не что иное, как пережиток старины. Вместо этого приоритет должен быть отдан *кинематике*, т.е. вопросу, как ведут себя часы и линейки в постоянном, свободном от всяких сил движении. Только затем может быть успешно рассмотрена проблема *динамики* (например, как ведут себя электроны в присутствии электрических и магнитных сил).

Эйнштейн полагал, что физики достигли бы непротиворечивости, только разобравшись в пространственно-временных измерениях. Для пространственных измерений необходима система координат — эйнштейновским световым лучам подойдет система обычных жестких измерительных стержней. Например, некая точка существует на расстоянии двух футов по оси x , трех — по оси y , и 14 футов — по оси z . Пока все в порядке. Но затем появляется непредвиденное — переосмысление *времени*, в котором современники, такие как математик и физик Герман Минковский, видели суть аргументации Эйнштейна⁵. Вот как формулирует это сам Эйнштейн: «Нужно понимать, что все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях. Если я, например, говорю: “Этот поезд прибывает сюда в 7 часов”, — то это означает примерно следующее: “Указание маленькой стрелки моих часов на цифру 7 и прибытие поезда суть одновременные события”»⁶. Для одновременности *в одной точке* нет никаких проблем: если событие, локализованное в непосредственной близости по отношению к моим часам (поезд останавливается напротив меня), происходит именно тогда, когда малая стрелка часов достигает семерки, тогда оба эти события очевидно являются одновременными. Трудность,

⁵ Galison. Minkowski's Space-Time. 1979.

⁶ Einstein. Elektrodynamik bewegter Körper. 1905. S. 893. Я пользовался (немного измененной) версией перевода: Miller. Einstein's Special Theory of Relativity. 1981. P. 392–393.

утверждает Эйнштейн, возникает тогда, когда мы должны связать между собой события, разъединенные в пространстве. Что означает тогда утверждение, что два *удаленных* события произошли одновременно? Как мне сопоставить показания моих часов *здесь* с прибытием поезда на другую станцию *где-то там* в 7 часов?

Для Ньютона вопрос времени содержал абсолютный компонент; время не было и не могло быть только вопросом о простых часах. С того момента как Эйнштейн потребовал разработать *процедуру*, для того чтобы придать строгое значение термину «одновременность», он отходит от доктрины абсолютного времени. Эйнштейн установил эту определяющую процедуру, выражаясь философским языком, через *мыслительный эксперимент*, который долгое время казался далеким от деятельности лабораторий и промышленности. Как, вопрошает Эйнштейн, мы должны синхронизировать наши удаленные часы? «В принципе, желая определить время некоторого события, мы могли бы удовлетвориться тем, что заставили бы наблюдателя, снабженного часами, находящегося в начале системы координат, сопоставлять прибытие светового сигнала, исходящего от события, время которого подлежит определению, <...> с показаниями стрелок своих часов»⁷. Увы, замечает Эйнштейн, поскольку свет распространяется с конечной скоростью, данная процедура не является независимой от расположения центральных часов (рис. 1.1). Предположим, я стою недалеко от А и далеко от В; вы стоите ровно посередине между А и В:

А — я — вы — В,

как А, так и В посылают световые сигналы ко мне, и оба сигнала проносятся перед моим носом в один и тот же момент. Могу ли я сделать заключение, что они были посланы в одно

⁷ *Einstein*. Elektrodynamik bewegter Körper. 1905. S. 893; *Miller*. Einstein's Special Theory of Relativity. 1981. P. 392–393.

и то же время? Конечно же, нет. Очевидно, что световой сигнал В преодолел гораздо более длинную дистанцию по направлению ко мне, чем сигнал А. Но очутились они передо мной в одно и то же время. Таким образом, сигнал В должен был быть запущен раньше сигнала А. Предположим, я упорно утверждаю, что А и В *должны* были запустить свои сигналы одновременно, ведь я же зарегистрировал их в один и тот же момент. Тотчас, как вы можете убедиться, я сталкиваюсь с непреодолимыми трудностями: если вы стояли ровно посередине между А и В, то вы должны были бы видеть световой сигнал В раньше А. Во избежание двусмысленности Эйнштейн не хотел ставить одновременность двух событий «А посылает световой сигнал» и «В посылает световой сигнал» в зависимость от того, где находится получатель. «Одновременное поступление сигналов ко мне» как процедура определения одновременности была бы неудачной — это эпистемическое «соломенное чучело», не способное рассказать связную или последовательную историю.

Вытряхнув солому из этого «соломенного чучела», молодой Эйнштейн предложил лучшее объяснение: пусть наблюдатель, находящийся в пункте А, посылает световой сигнал по направлению к пункту В, находящемуся от А на расстоянии d , в тот момент, когда часы в пункте А показывают 12:00. Световой сигнал отражается от В и возвращается обратно к А. По мнению Эйнштейна, наблюдатель в В должен установить свои часы на 12:00 плюс $1/2$ часть времени, затраченного световым сигналом на прохождение пути туда и обратно. Что будет, если путь светового сигнала туда и обратно составил две секунды? Тогда часы в пункте В должны показывать 12:00:01 — время, когда получен световой сигнал. Предполагая, что свет распространяется так же быстро в одном направлении, как и в другом, схема Эйнштейна означает, что наблюдатель в пункте В должен установить свои часы на полдень плюс расстояние между двумя часами, деленное на скорость света. Скорость света равна

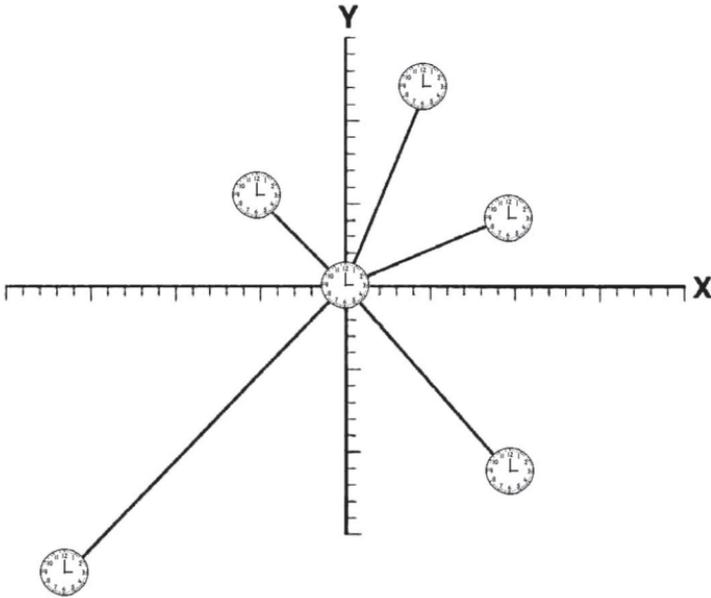


Рис. 1.1. Центральное согласование часов

В своей статье 1905 г. о специальной теории относительности Эйнштейн вводит и отвергает схему согласования часов, в которой центральные часы посылают сигнал ко всем остальным часам. Периферийные часы устанавливают свое время в тот момент, когда к ним прибывает сигнал от центральных часов. Например, если центральные часы посылают свой сигнал в 3:00, все периферийные часы при получении этого сигнала переводят свои стрелки также на 3:00. Возражение Эйнштейна: периферийные подчиненные часы находятся на различных расстояниях от центральных часов, таким образом, ближайшие часы будут устанавливать свое время по прибытии сигнала раньше, чем более отдаленные. Это делает одновременность двух часов зависимой (неприемлемо для Эйнштейна) от случайного обстоятельства, где располагаются устанавливающие время «центральные» часы.

300 тыс. км в секунду. Таким образом, в том случае, если наблюдатель в пункте В находится в 600 тыс. км от пункта А, он примет световой сигнал и установит свои часы на 12:00:02, полдень плюс две секунды. Если наблюдатель в пункте В находился бы на расстоянии 900 тыс. км от пункта А, то после получения сигнала он установил бы свои часы на 12:00:03.

Продолжая в том же духе, наблюдатели в пунктах А, В и кто-либо еще, участвующий в этом упражнении на согласование, могли бы полностью согласиться между собой в том, что их часы синхронизированы. Если мы теперь передвинем источник, не произойдет никаких изменений: каждые часы уже устроены так, чтобы принимать во внимание время, необходимое световому сигналу для прибытия в местонахождение часов. Так Эйнштейн связал между собой отсутствие привилегированных «главных часов» и однозначное определение одновременности (рис. 1.2).

Полученным протоколом согласования часов Эйнштейн разрешил проблему. Благодаря строгому применению простой процедуры согласования и соблюдению двух основополагающих принципов он мог показать, что два события были одновременными в одной системе координат и не были одновременными в другой системе координат. Вдумаемся: измерение длины движущегося объекта всегда зависит от одновременного определения местонахождения двух точек (если вы хотите узнать длину движущегося автобуса, надлежит измерить позицию его фронтальной и тыловой части в одно и то же время). Поскольку определение длины требует одновременности измерения фронтальной и тыловой части, относительность одновременности ведет к относительности длин: моя система координат будет определять длину подвижной относительно меня метровой линейки как меньшую, чем длина метра.

Удивительная сама по себе относительность времен и длин привела ко многим другим следствиям, еще более поражающим воображение. Поскольку скорость определяется как расстояние, преодолеваемое за определенное время, в концепции Эйнштейна должна быть пересмотрена также сумма скоростей подвижных объектов. Человек, бегущий по поезду со скоростью $1/2$ скорости света (по отношению к поезду), в то время как поезд будет развивать скорость в $3/4$ скорости света, в ньютоновской физике будет двигаться

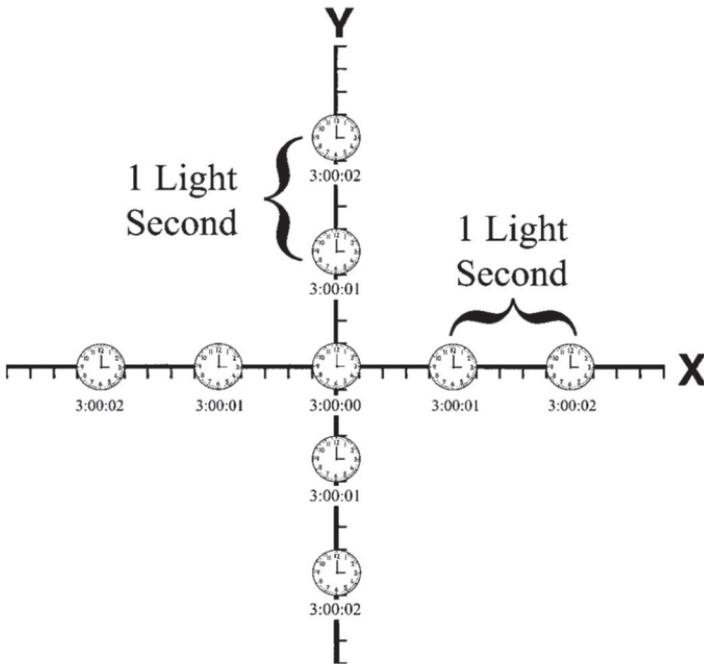


Рис. 1.2. Эйнштейновское согласование часов

Эйнштейн утверждал, что лучшим и более строгим решением вопроса одновременности было бы следующее: устанавливать часы не по времени, по которому был запущен сигнал, но по времени исходных часов плюс время, которое понадобилось сигналу для прохождения пути от исходных часов до часов, подлежащих синхронизации. Точнее, он предлагал посылать возвратный сигнал от исходных часов к удаленным, а затем устанавливать удаленные часы на время исходных часов плюс промежуток времени, который потребовался для прохождения сигнала туда и обратно. Таким образом, положение «центральных» часов становится второстепенным: можно запустить процедуру в любой точке и однозначно зафиксировать одновременность.

относительно земной поверхности со скоростью $1/4$ скорости света. Но, строго следуя определению времени и одновременности, Эйнштейн показал, что настоящая суммарная скорость будет меньше указанной, на самом деле *всегда* меньше, чем скорость света, безотносительно величины скорости поезда или человека, движущегося в этом поезде.

Тем самым Эйнштейн смог объяснить предшествующие загадочные оптические эксперименты и сделать новые прогнозы относительно движения электронов. В конце концов начальные допущения Эйнштейна, касающиеся скорости света и относительности, связанные с его схемой согласования часов, помогли продемонстрировать, что в действительности не существовало *двух различных* объяснений катушки, магнита и лампочки, но всегда только одно: магнитное поле в одной системе отсчета было электрическим полем в другой системе отсчета. Различие заключалось только в перспективе: отличался взгляд из разных систем координат. И эфир тут совсем ни при чем. Позднее Эйнштейн использовал относительность для выработки наиболее знаменитого научного уравнения: $E = mc^2$. Обнаружив, что масса и энергия являются взаимозаменяемыми, Эйнштейн продемонстрировал следствия, которые сначала казались релевантными только для самых точных и пока практически невозможных экспериментов, однако, спустя 40 лет, произвели революцию в военно-политической сфере.

В теории относительности Эйнштейна сокрыто многое помимо простого согласования часов. Без преувеличения можно сказать, что господство над электричеством и магнетизмом было величайшим достижением физической науки XIX в. Исключительно спекулятивно кембриджский физик Джеймс Клерк Максвелл разработал теорию, которая представила свет не чем иным, как электрическими волнами, и таким образом объединила электродинамику и оптику. В практической плоскости генераторы принесли электрический свет в города, электрические трамваи поменяли городские пейзажи, а телеграфы изменили рынки, новости и военное дело. К концу века физики проводили невероятно точные и тщательные измерения света в попытках обнаружить неуловимый эфир. Они совершенствовали организацию исследовательской работы в области электричества и магнетизма, чтобы раскрыть секреты поведения недав-

но обнаруженного электрона. Все это привело множество выдающихся физиков (не только Эйнштейна и Пуанкаре) к рассмотрению проблемы электродинамики движущихся тел в качестве наиболее трудной, фундаментальной и острой проблемы научной повестки дня того времени⁸.

В понимании самого Эйнштейна, признание того, что синхронизация часов необходима для определения одновременности, было итоговым концептуальным шагом, позволившим ему завершить свои долгие поиски. Именно согласование времени и стало темой данной книги. Действительно, Эйнштейн считал деформацию времени в теории относительности наиболее выдающейся заслугой своей теории. Но его позиция далеко не сразу получила признание, даже среди тех, кто считал себя последователями Эйнштейна. Некоторые приняли теорию относительности сразу, как только ее правота подтвердилась в экспериментах по отклонению электронов. Были и те, кто начал использовать теорию относительности, только когда физики и математики переработали ее в более привычной терминологии, которая не так сильно подчеркивала относительность времени. К 1910 г., благодаря напряженным личным беседам, переписке, полемике в научных журналах, значительно выросло число физиков, считавших пересмотр понятия времени выдающейся заслугой новой теории. В последующие годы как для философов, так и для физиков стало общим местом считать синхронизацию часов триумфом в обеих дисциплинах и опознавательным знаком современного мышления.

Молодые физики, включая Вернера Гейзенберга, начали в 1920-х годах создание новой квантовой физики по эйнштейновскому образцу решительного отвержения тех понятий (наподобие абсолютного времени), которые не отсылали ни к чему наблюдаемому. В частности, Гейзенберг

⁸ См. источники из примеч. 2; об эфире: *Conceptions of Ether* / Cantor, Hodge (eds). 1981.

восхищался тем, с каким упорством Эйнштейн утверждал, что одновременность относится исключительно к часам, согласованным благодаря определенной и абсолютно прозрачной процедуре. Гейзенберг и его коллеги решительно настаивали на критерии наблюдаемости: если вы хотите говорить о положении электрона, предложите процедуру, с помощью которой это положение может быть наблюдаемо. Если вы хотите сказать что-то относительно скорости его движения, предложите эксперимент, который измерял бы ее. Наиболее резкая формулировка: если вы в принципе не можете измерить положение и скорость движения одновременно, тогда положение и скорость движения просто не существуют в одно и то же время. Известно, что Эйнштейн отклонял такое заключение, хотя его коллеги, специализирующиеся в квантовой физике, ссылались на то, что они только распространили пронизательную критику времени и одновременности Эйнштейна на атомы. Для Эйнштейна было уже слишком поздно загонять своего релятивистского джинна обратно в бутылку. Прежде всего он волновался, что новая физика слишком активно использует его требование наблюдаемости и тем самым недооценивает конструктивную роль теории в определении того, что подлежит наблюдению. Как иронично заметил однажды Эйнштейн: «Хорошая шутка не должна повторяться слишком часто»⁹.

Хорошая шутка, однако, оказалась заразной. Психолог Жан Пиаже внес важный вклад в исследование понятия «интуитивного» времени у ребенка. Эйнштейновское согласование времени начало служить подобием модели, а вскоре *самой* моделью новой эры научной философии.

⁹ О дискуссиях Гейзенберга с Эйнштейном относительно критики абсолютного времени см.: *Physics and Beyond*. 1971. P. 63; другие квантовые теоретики (Макс Борн и Паскаль Йордан) также смоделировали свою новую физику на основе конвенции одновременности Эйнштейна: *Cassidy. Uncertainty*. 1992. P. 198; замечание Эйнштейна относительно «хорошей шутки» приводит Филипп Франк: *Franck*. 1953. P. 216.

Собиравшиеся в австрийской столице для разработки анти-метафизической философии физики, социологи и философы Венского кружка приветствовали одновременность синхронизированных часов как парадигму достоверного, проверяемого научного понятия. В иных местах Европы и в США другие философы (а также физики) присоединились к чествованию одновременности, устанавливаемой посредством обмена сигналами, как примера подлинно обоснованного знания, которое будет служить орудием против праздной метафизической спекуляции¹⁰. Для Уильяма ван Ормана Куайна, одного из наиболее влиятельных американских философов XX в., *всякое* знание было в конечном счете пересматриваемо (он даже полагал, что логика также в конце концов будет нуждаться в некотором изменении). Тем не менее, исследовав научное знание в целом, Куайн наиболее достоверным считал определение одновременности с помощью часов и световых сигналов Эйнштейна, полагая, что именно понятие времени Эйнштейна «...следует надежно оберегать при осуществлении будущей ревизии науки»¹¹. Для века философии, отмеченного огромными изменениями в отношении к знанию, атмосферой враждебности к вечному, к неприкосновенным истинам, не существовало более высокой похвалы.

Безусловно, не все восхищались идеей относительности времени. Одни высмеивали ее, другие пытались спасти от нее физику. Но к 1920 г. как физики, так и философы осознали, что вопрос Эйнштейна «Что есть время?» задал новый стандарт для научных теорий, требующий чего-то более осязаемого, более доступного человеку, нежели ньютоновское понятие метафизического абсолютного времени. Сам Эйнштейн полагал, что он получил эффективное философское оружие против абсолютного времени из

¹⁰ *Schlick*. Meaning and Verification. 1987. P. 131, 147.

¹¹ *Quine*. Lectures on Carnap. 1990. P. 64.

критической работы XVIII в. Дэвида Юма, который бескомпромиссно отстаивал, что суждение «А является причиной В» не означает ничего, кроме следования В за А. Подсказкой для Эйнштейна служила также работа венского физика, философа и психолога Эрнста Маха, обличающая понятия, оторванные от ощущений. Среди Маховых (иногда избыточных) обзоров праздных абстракций ничто не упоминалось в негативном контексте чаще ньютоновских «средневековых» понятий абсолютного пространства и абсолютного времени. Однако Эйнштейн исследовал время и сквозь призму других научных концепций, среди которых были теории Хендрика А. Лоренца и Пуанкаре. Каждая из этих концептуальных линий, как и другие, с которыми мы столкнемся позднее, формируют часть истории времени и часов. Между тем чисто интеллектуальная история представляет Эйнштейна парящим в облаках абстракций — философом-ученым, своими мыслительными экспериментами потрясающим основы пыльной ньютоновской догмы абсолютного времени, смущающим умы современного ему научно-технического истеблишмента, слишком искушенного, чтобы задавать основополагающие вопросы о времени и одновременности. Но разве эта интеллектуальная оценка является исчерпывающей?

КРИТИЧЕСКАЯ ОПАЛЕСЦЕНЦИЯ

Конечно, Эйнштейн и Пуанкаре часто смотрели на свою научную работу так, будто она возникла полностью за пределами материального мира. В связи с этим полезно поразмыслить над речью Эйнштейна, произнесенной им в начале октября 1933 г. на массовом митинге, организованном с целью помощи беженцам и эмигрировавшим ученым. Ученые, политики и прочая публика битком набились в лондонский Королевский Альберт-холл. В то время как враждебно настроенные демонстранты угрожали сорвать мероприятие,

тысячи студентов пришли на защиту в качестве стюардов. Эйнштейн предсказывал неизбежность войны, ненависти и насилия, надвигающихся на Европу. Он призывал мир сопротивляться движению к порабощению и угнетению и умолял правительство остановить предстоящий экономический коллапс. Затем неожиданно политическая нить речи Эйнштейна оборвалась. Тема мирового кризиса была отложена в сторону, как если бы бедственный характер текущей ситуации вышел за пределы его компетенции. Совершенно в другом ключе он стал рассуждать об одиночестве, творчестве и тишине, о плодотворных мгновениях, когда он погружался в абстрактные размышления, возможные лишь благодаря однообразию сельской жизни. «Существуют такие роды деятельности, даже в современном обществе, которые подразумевают жизнь в изоляции и не требуют большого физического или интеллектуального усилия. На ум приходят такие занятия, как обслуживание стационарных и плавающих маяков»¹².

Уединение необходимо и для молодого ученого, занятого философскими и математическими проблемами, настаивал Эйнштейн. Это подталкивает нас к тому, чтобы соответствующим образом представить себе его молодость: отождествить патентное бюро Берна, где он зарабатывал себе на жизнь, с таким удаленным плавучим океанским маяком. В соответствии с описанной им идиллией уединенной интеллектуальной деятельности Эйнштейн выглядит в наших глазах как воплощение философа-ученого, который отрывался от суматохи патентного бюро и праздной болтовни, чтобы переосмыслить основы дисциплины и опровергнуть ньютоновские понятия абсолютного пространства и времени. От Ньютона до Эйнштейна: достаточно легко представить себе эту трансформацию физики как противоборство теорий, парящих над миром машин, изобретений

¹² *Einstein. Einstein on Peace.* 1960. P. 238–239.

и патентов. Сам Эйнштейн способствовал укреплению этого образа, подчеркивая в разных местах роль чистой мысли в создании теории относительности: «Существенное для бытия человека моего типа заключается именно в том, *что* он думает и *как* он думает, а не в том, что он делает или претерпевает»¹³.

Обычно мы представляем себе Эйнштейна как человека не от мира сего, как оракула, общающегося с духами физики; Эйнштейн заявляет о свободе Бога в создании Вселенной; Эйнштейн отмечает патентные заявки как горы напрасного труда, отвлекающего его от философии природы; Эйнштейн призывает мир к чистым мысленным экспериментам с воображаемыми часами и фантастическими поездами. Ролан Барт проанализировал плод этого коллективного сознания в своем эссе «Мозг Эйнштейна», где ученый представлен как мозг в чистом виде, икона самой мысли, как волшебник и в то же время как бестелесная машина, без психики или общественного бытия¹⁴.

Барт должен был знать, что среди тех ученых, которые представляются публике парящими над материальным миром, был и Анри Пуанкаре, выдающийся французский математик, философ и физик, абсолютно независимо от Эйнштейна построивший подробную математическую физику, содержащую принцип относительности. В изящно стилизованных эссе Пуанкаре представляет свои результаты широкому кругу читателей и в то же время исследует достоинства и недостатки как современной, так и классической физики. Подобно Эйнштейну, Пуанкаре позиционировал себя как свободного мыслителя. В одном из самых знаменитых отчетов, когда-либо написанных ученым о собственной ра-

¹³ *Einstein*. Autobiographical Notes. [1949]. P. 33.

¹⁴ *Barthes*. Mythologies. 1972. P. 75–77. [Рус. изд.: *Барт Р.* Мозг Эйнштейна // Барт Р. Избранные работы: Семиотика. Поэтика / сост., общ. ред. и вступ. ст. Г.К. Косикова. М.: Прогресс, 1989.]

боте, Пуанкаре перечислил свои шаги к теории нового типа функций, важной для нескольких областей математики:

В течение двух недель я старался доказать, что невозможна никакая функция, которая была бы подобна тем, которым я впоследствии дал название фуксовых функций; в то время я был еще весьма далек от того, что мне было нужно. Каждый день я усаживался за свой рабочий стол, проводил за ним один-два часа, перебирал большое число комбинаций и не приходил ни к какому результату. Но однажды вечером я выпил, вопреки своему обыкновению, чашку черного кофе; я не мог заснуть; идеи возникали во множестве; мне казалось, что я чувствую, как они сталкиваются между собой, пока, наконец, две из них, как бы сцепившись друг с другом, не образовали устойчивого соединения. Наутро я установил существование класса функций Фукса, а именно тех, которые получаются из гипергеометрического ряда; мне оставалось лишь сформулировать результаты, что отняло у меня всего несколько часов¹⁵.

Не только в этом свидетельстве об открытых им фуксовых функциях, но и в своих замечательных философских и научно-популярных работах Пуанкаре анализировал физические и философские проблемы, создавая воображаемые миры, обособленные от конкретных обстоятельств места и времени, помещая вымышленных ученых в идеализированные альтернативные вселенные: «Представим себе человека, перенесенного на некоторую планету, где небо постоянно закрыто густым покровом облаков, так что никогда не видно других светил; пусть жизнь этой планеты течет так, как если бы она была изолирована в пространстве. Все же этот человек мог бы заметить ее вращение...»¹⁶. Этот космический путешественник, по мнению Пуанкаре, мог бы обнаружить

¹⁵ *Poincaré*. Mathematical Creation. 1913. P. 387–388. [Рус. изд.: Пуанкаре А. Наука и метод // Пуанкаре А. О науке / под ред. Л.С. Понтрягина. М.: Наука, 1989. Гл. III. Математическое творчество.]

¹⁶ *Poincaré*. Science and Hypothesis. 1952. P. 78. [Рус. изд.: Пуанкаре А. Наука и гипотеза // Там же.]

вращение планеты благодаря установлению того факта, что планета выпукла на протяжении своего экватора, или благодаря повторению эксперимента Жана Фуко с вращением свободно подвешенного маятника. Здесь, как и в других местах, Пуанкаре использовал воображаемый мир, для того чтобы сделать реальный философско-физический вывод.

Конечно, можно — и даже продуктивно — рассматривать Эйнштейна и Пуанкаре только как спекулятивных философов, чья цель заключалась в том, чтобы подкреплять философские утверждения созданием вымышленных миров, изобилующих всевозможными нереальными ситуациями. Наверное, как раз один из таких миров представлял себе Пуанкаре, когда описывал ситуацию с резко различающимися температурами, приводящими к изменению длины объекта при движении вверх или вниз. Нападки Пуанкаре и Эйнштейна на абсолютную одновременность Ньютона также могут рассматриваться как исключительно метафорические конструкции, использующие вымышленные поезда, фантастические часы и абстрактные телеграфы.

Теперь давайте вернемся к центральному пункту исследования Эйнштейна. Оставаясь в рамках, как может показаться, причудливо метафорического мыслительного эксперимента, Эйнштейн хотел узнать, что означает прибытие поезда на станцию в 7 часов. Я долго полагал, что это тот вопрос, который (как однажды выразился сам Эйнштейн) человек формулирует «в раннем детстве». Эйнштейн же продолжал задавать его себе, когда «уже повзрослел»¹⁷. Было ли это простодушием оторванного от реальности гения? При таком подходе вопросы о времени и пространстве того же толка кажутся настолько элементарными, что не заслуживают внимания профессионального ученого. Но разве проблема одновременности все это время не находилась

¹⁷ Цит. по: *Helle Zeit-dunkle Zeit / Seelig (ed.)*. 1956. S. 71; англ. пер.: *Calaprice. The Quotable Einstein*. 1996. P. 182.

ниже порога зрелой мысли? Разве кто-нибудь в 1904–1905 гг. *в действительности* задавался вопросом, что означает для наблюдателя, находящегося здесь, заявить, что удаленный наблюдатель видел прибытие поезда в семь часов? Была ли идея определения удаленной одновременности посредством обмена электрическими сигналами исключительно философским конструктом, вынесенным за границы материального мира начала века?

Конечно же, я был далек от мыслей об относительности, когда не так давно стоял на одной североевропейской железнодорожной станции, рассеяно глядя на элегантные часы, выстроившиеся в линию вдоль платформы. Все они показывали одно и то же время, минута в минуту. Любопытно. Хорошие часы. Затем я понял, что, насколько я мог видеть, даже отрывистые движения их секундных стрелок отличались абсолютной синхронностью. Эти часы не просто хорошо идут, подумал я, эти часы согласованы. Эйнштейн, по всей видимости, также должен был иметь перед глазами согласованные часы, когда он трудился над своей статьей 1905 г., пытаясь понять значение удаленной одновременности. И действительно, через дорогу от его Патентного бюро в Берне располагался старый железнодорожный вокзал, демонстрирующий захватывающий вид часов, согласованных внутри станции, вдоль железнодорожных путей и на фасаде (рис. 1.3).

Происхождение согласованных часов, как и большинство вещей из нашего технологического прошлого, остается неясным. Какая из многочисленных частей технологической системы стала определяющей? Использование электричества? Унификация часовых механизмов? Непрерывный контроль удаленных часов? Считается, однако, что уже к 1830–1840-м годам британцы Чарльз Уитстон и Александр Бейн, а вскоре после них швейцарец Маттеус Гипп и множество других европейских и американских изобретателей начали конструировать системы электрического распреде-



Рис. 1.3. Железнодорожная станция Берна (примерно 1860–1865 гг.) Одна из первых построек в Берне, оснащенных новыми согласованными часами. Двое часов едва заметны над овальными арками внешней части здания вокзала.

Источник: Bürgerbibliothek в Берне, neg. 12572.

ления сигналов для связывания многочисленных удаленных часов с едиными центральными часами, названными в соответствующих языках «*horloge-mère*» (материнские часы), «*Primäre Normaluhr*» (основные стандартные часы) и «*master clock*» (главные часы)¹⁸. В Германии Лейпциг был первым городом, который ввел в оборот электрическую систему распределения времени, затем Франкфурт в 1859 г.; Гипп (тогдашний директор телеграфной мастерской) приме-

¹⁸ Дистанционно установленные часы обсуждали среди прочих Чарльз Уитстон и Уильям Кук, шотландский часовщик Александр Бейн и американский изобретатель Сэмюэл Ф.Б. Морзе. Для Уитстона, Кука и Морзе координация часов была ответвлением их основного интереса к телеграфии. См.: *Welch. Time Measurement*. 1972. P. 71–72.

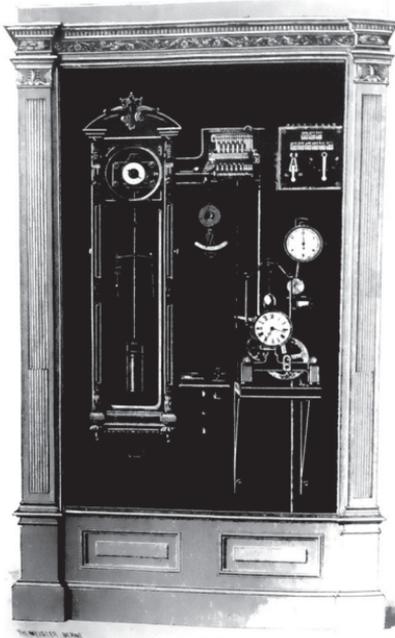


Рис. 1.4. Главные часы Невшателя

Нарядно украшенные главные часы были объектом огромной ценности, а также гордости горожан. Находящиеся в центре региона часовой промышленности Швейцарии, они получали время прямо из обсерватории, а затем посылали свой сигнал по телеграфным линиям.

Источник: *Favarger. L'Électricité. 1924. P. 414.*

нил швейцарские наработки в Федеральном дворце в Берне, где сотни часов начали синхронно идти в 1890 г. Согласование часов быстро охватило Женеву, Базель, Невшатель и Цюрих, включая их железнодорожные пути (рис. 1.4, 1.5)¹⁹.

¹⁹ Относительно дискуссий о согласовании часов до 1900 г. см., например, серию статей: *Favarger. L'Electricité et ses applications à la chronométrie. Sept. 1884 — June 1885. P. 153–158*, а также *Les Horloges électriques. 1917; Ambronn. Handbuch der Astronomischen Instrumentenkunde. 1899. Vol. 1. P. 183–187*. О расширении сети Берна см.: *Gesellschaft für elektrische Uhren in Bern. Jahresberichte. 1890–1910. Stadtarchiv Bern.*

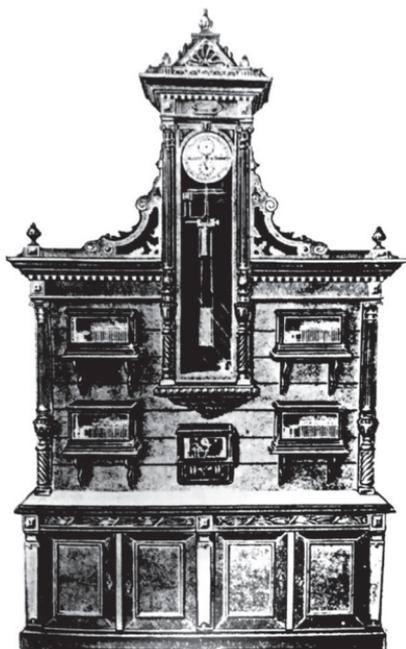


Рис. 1.5. Главные часы Берлина

Эти часы, находящиеся на главном вокзале Берлина, посылали свое время на множество железнодорожных путей, расходящихся в разные стороны от вокзала.

Источник: *Favarger. L'Électricité. 1924. P. 470.*

Таким образом, Эйнштейн не только был окружен технологией согласования часов, он находился в одном из наиболее крупных центров изобретения, производства и патентования этой распространяющейся технологии. Находились ли другие крупные ученые, которые занимались фундаментальными физическими законами электромагнетизма и природой времени, также в гуще последних достижений синхронизации часов? С уверенностью можно сказать по крайней мере об одном из них.

Примерно за семь лет до того как 26-летний служащий патентного бюро переопределил одновременность в своей

работе 1905 г., Анри Пуанкаре выдвинул поразительно схожие идеи. Выдающийся французский интеллектуал уже был широко известен как один из самых знаменитых математиков XIX в. благодаря разработке значительной части топологии, работам по небесной механике и огромному вкладу в электродинамику движущихся тел. Инженеры нахваливали его работы по беспроводной телеграфии. Широкая общественность один за другим поглощала его бестселлеры по философии конвенционализма, науке и ценностям и апологии «науки ради науки».

Для наших целей наиболее примечательной является работа Пуанкаре, напечатанная в январе 1898 г. в философском журнале *Revue de Métaphysique et de Morale* под заголовком «Измерение времени». В ней Пуанкаре разрушил популярное мнение, поддерживаемое влиятельным французским философом Анри Бергсоном, согласно которому у нас есть интуитивное понимание времени, одновременности и длительности. Вместо этого, доказывал Пуанкаре, одновременность — это *конвенция*, соглашение между людьми, пакт, заключенный не благодаря его очевидной истинности, но по причине того, что он позволял максимизировать человеческое удобство. По существу, одновременность должна *определяться* в результате наблюдаемой процедуры согласования часов, путем обмена электромагнитными сигналами (телеграфными импульсами или световым всплшками). Как и Эйнштейн в 1905 г., Пуанкаре в 1898 г. стремился сделать одновременность процедурным понятием, указывая на необходимость учета времени передачи временного сигнала по телеграфу.

Видел ли Эйнштейн статью Пуанкаре 1898 г. или не менее важное сочинение 1900 г. до того, как написал свою работу 1905 г.? Вполне возможно. Пока не существует убедительных доказательств ни той, ни другой точки зрения. Тем не менее будет полезным исследовать данный вопрос как в узком, так и в более широком плане. Ибо, как мы увидим, Эйнштейн

не нуждается в ознакомлении с аргументацией Пуанкаре. Проблема согласования часов то и дело мелькала на страницах философских и физических журналов. В действительности сам процесс электромагнитного согласования часов был настолько захватывающим для общественности конца XIX в., что эта тема промелькнула однажды даже в одной из любимых детских книг Эйнштейна о науке²⁰. В 1904–1905 гг. кабели, связывающие между собой часы, опоясали землю по суше и по морскому дну. Синхронизированные хронографы были повсюду.

Так же как комментаторы привыкли видеть в рассуждениях Эйнштейна о поездах, сигналах и одновременности пространственные метафоры и литературно-философские мыслительные эксперименты, возник и стереотип в отношении Пуанкаре. В случае французского мыслителя имело место нечто похожее на то, как теорию относительности Эйнштейна поспешили записать в разряд философских спекуляций, объявив ее блестящим ходом автора, которому не хватило интеллектуального мужества, чтобы довести ее до своего логического, революционного конца. Эта история получила такое распространение, что стало привычно рассматривать инсайт Пуанкаре относительно согласования времени как полностью изолированное философское *apercu*, оторванное от реального мира. Но ни Пуанкаре, ни Эйнштейн не говорили о времени в вакууме.

Что такое, задается вопросом Пуанкаре, правила, посредством которых ученые определяют одновременность? Что *есть* одновременность? Его заключительный, наиболее сильный пример касался определения долготы. Он отмечал, что когда моряки или географы заняты определением долготы, по сути, они вынуждены решать как раз ту самую центральную проблему одновременности: они должны, не находясь в Париже, рассчитать парижское время.

²⁰ *Bernstein*. Naturwissenschaftliche Volksbücher. 1897. S. 62–64, 100–104. Я хотел бы поблагодарить Юргена Ренна за полезную беседу о Бернштейне.