

А.С. Каменев

Теория относительности А. Эйнштейна и некоторые философские проблемы времени

В статье рассматривается понятие «времени» и делается попытка его философской реконструкции на основе результатов, следующих из специальной и общей теории относительности Эйнштейна.

Ключевые слова: пространство; время; длительность; метафоричность; процесс; скорость света; гравитация; «парадокс близнецов»; динамика; термодинамика.

Рассматривая науку как деятельность, цель которой — получение «объективной» (насколько это вообще возможно) информации об окружающем нас мире, то есть системы реальных знаний, которые: 1. Теоретически (модельно) формализованы; 2. Эмпирически (экспериментально) проверяемы; 3. Прогностически полезны и практически важны, — мы так или иначе апеллируем к информационной сущности природы (неважно, чем она является на «самом деле»). Стало быть, природа представляется нами как семиотическая реальность — то есть как бы в форме некоторого текста, написанного на определенном языке (например, как «Книга природы», написанная Создателем на языке математики) — Галилей) [3; 5].

В любом языке, с помощью которого можно отобразить в упорядоченном виде то или иное событие, должен существовать базовый словарь основных понятий, и таким минимальным словарем, необходимым для описания любых происходящих событий как в быту или в художественной прозе, так и в науке и философии, является система трех координат: Что, Где, Когда, которые психологически вполне обусловлены и закономерно перешли из конкретно-бытовой сферы в область абстрактного мышления, став его важнейшими категориями. Таковыми являются: 1. Вещество (или Материя, характеризующаяся массой); 2. Пространство (ее вместительность, упорядоченное трехмерной системой координат) и 3. Время, то есть длительность, в течение которой с материальными объектами что-то происходит.

В обыденном сознании и в пределах логики так называемого здравого смысла мы традиционно (как самоочевидное и, вероятно, восходящее к архетипу мнение) воспринимаем эти фундаментальные характеристики мира – пространство, время и вещество — в качестве совершенно независимых друг от друга абсолютных сущностей. В течение тысячелетий такая вера была психологически и эмпирически вполне оправдана, а в классическую эпоху философски и научно обоснована. Благодаря впечатляющим успехам небесной механики это представление прочно закрепилось в научном мышлении и, узаконенное авторитетом Галилея и Ньютона, стало постулатом в классической науке. Обыденные представления о времени как о текущей реке (восходящие к Гераклиту), а также выражения художественного языка, фиксирующие это отношение (например, «река времени», «течение времени», «сколько времени прошло» или «время ускорило свой бег» и т. п. метафоры) в значительной степени повлияли на общий смысл понятия времени, в результате чего время в философии, а затем и в науке, приобрело чуть ли не предметную (то есть почти материальную) сущность. Ведь если нечто течет, то есть движется, то оно, во-первых, перемещается относительно чего-то находящегося в покое, а во-вторых, должно обладать материальной природой, т. е. в некотором смысле быть реальной вещью. Но тогда как понять, что из себя представляют «берега» этой реки времени?!

Вообще бытовой язык более тесно связан с научным, чем может поначалу показаться, — на это обращали внимание Уорф, Витгенштейн и др. Последний, например, отмечал: «В повседневном языке нередко бывает, что одно и то же слово осуществляет обозначение по-разному... либо же, что два слова, обозначающих по-разному, внешне употребляются в предложении одинаково... Язык переодевает мысли... Отсюда с легкостью возникают фундаментальнейшие подмены одного другим, которыми полна вся философия» [1: с. 15], но, как оказалось, этому подвержена и наука, в частности, механика, где метафорическое понимание времени проявило себя в полной мере. По этому поводу Ю.М. Лотман заметил: «Метафоризм, когда он выступает под маской модели или научного определения, особенно коварен» [6: с. 26] и способен в силу психологической привлекательности создать устойчивую когнитивную традицию.

Именно такая подмена смыслов, когда художественная метафора не только повлияла на научный термин, но и полностью подменила его, привела к тому, что мы шаблонно и некритически говорим о реальности времени, о его течении, скорости, сгущении и т. п. «характеристиках», забывая о том, что время — это только эпифеномен каких-либо реальных процессов, происходящих с предметами, в результате чего появляются различные изменения, за которыми можно наблюдать и фиксировать состояние предметов до изменения (начало) и после него (конец), то есть отмерять длительность процесса или, если угодно, время его осуществления. Однако если допустить, что вокруг вообще ничего не происходит или происходит циклически (обратимо), то есть: или не нарушается симметрия предметов в пространстве,

или предметов вовсе нет, — тогда не будет ни «до», ни «после», так что не возникает никакой мотивации (психологически или рационально обусловленной) вводить в систему мышления идею времени, а в язык — соответствующее ей понятие. Кроме того, при полном отсутствии предметов вообще невозможно помыслить не только время, но и само пространство, на что в свое время в дискуссиях с Ньютоном указывали Беркли и Лейбниц (реляционная модель пространства и времени).

Тем не менее, несмотря на такие соображения, в математическом анализе, разработанном Ньютоном и Лейбницем и доведенном до совершенства выдающимися французскими математиками Лагранжем, Даламбером, Лапласом, Пуассоном и др., именно время как текущая координата выступало в качестве абстрактной независимой переменной, которая позволяла упорядочить такой же абстрактный процесс механического движения условного материального объекта, обладающего массой m , в системе трех пространственных координат: $\{x, y, z\}$ и одной временной t . Причем время (а по сути дела, такой же условный параметр, как масса, длина, ширина и высота) в силу законов динамики Ньютона и свойств интеграла (то есть свойств математического языка) входило в уравнение траектории движения (зависимость пройденного пути от времени) в квадрате: $s = 1/2 * F * t^2 / m$, что формально соответствует его обратимости и симметрии между прошлым и будущим в любом динамическом процессе.

Конкретный смысл и числовое значение независимая переменная t «время» приобретало в результате измерений с помощью какого-либо устойчивого циклического процесса, реализуемого в часах, и длилось от начала эксперимента до его завершения, то есть, по сути дела, просто характеризовало его длительность. Так что в механике универсальная категория «время» выступает как синоним операционального понятия «длительность» какого-либо конкретного процесса и фиксируется с помощью часов, стрелки которых циклически движутся с определенной стандартной скоростью. Таким образом, весь диапазон возможных скоростей процессов (и соответствующих им времен) упорядочивается путем сравнения с показаниями часов, которые устроены именно так, что в них время и скорость — неразрывны и взаимобусловлены. Так что само время как категория при таком подходе никакими признаками глобальности не обладает, а вышеуказанная подмена понятий обусловлена тем, что всё измеряется одними и теми же приборами, градуированными с помощью универсального (при этом тоже вполне условного) эталона, и выражается теми же единицами.

Нелишне напомнить, что еще Августин Аврелий (IV в.), размышляя о природе времени, пришел к представлению о его субъективной психологической обусловленности и иллюзорном характере. В XX же веке стало общеизвестным научным фактом наличие у человека (да и у всех живых организмов) внутренних биологических часов — сложного циклического биохимического

процесса, задающего индивидуальный суточный биоритм (кстати, варьирующийся в довольно широких пределах и редко совпадающий со стандартными сутками), который позволяет нам ощущать то, что мы привыкли называть течением времени. Так что наше ощущение и осознание времени основано на его психо-физиологической природе и неизбежно является субъективным и относительным, и только находясь в социальной среде, мы подчиняемся единому стандарту и привыкаем к идее абсолютности времени.

Так возникает почва для упомянутой смысловой подмены, а в научной среде она еще была подкреплена серией блестящих достижений ньютоновской механики, и постепенно «время» как философская категория приобрело такую характерную черту эмпирического понятия «длительность», как обратимость и аддитивность, но при этом сохранило глобальный и абсолютный характер. Вся эта путаница (возможно, подсознательно основанная на архаических и религиозных мифах о вечном возвращении) закрепились в коллективном сознании, проникла в исторические и социальные науки, а также в некоторые философские учения. Единственное свойство времени, которое могло вызвать сомнения (и вызывало, например у Дидро — памфлет «Сон д'Аламбера»), — так это его обратимость, особенно по отношению к рождению, существованию и смерти живых организмов. Но это были общеполитические соображения, с помощью которых можно было обосновать эту позицию, но не доказать ее строго научно. Доказательства такого рода появились только в конце XIX – середине XX века, и это потребовало разработки нового математического языка и новой «философии нестабильности», — а это была уже новая картина мира, основанная на так называемой синергетической парадигме — (Пригожин, Хакен, Курдюмов и др.).

Но вернемся во времена Лапласа и, приняв время t за независимую текущую координату, как это постулируется в классической механике, определим скорость движения v в виде отношения пройденного пути s ко времени: $v = s / t$. Эта величина также обратима и обладает свойством алгебраической аддитивности, равно как и сам пройденный путь тела массой m под действием силы F , который выражается уравнением траектории движения: $s = 1 / 2 * F * t^2 / m$. Такое положение дел, основанное на строгом математическом доказательстве, огромном эмпирическом материале и формализованное в преобразованиях Галилея, никогда ни у кого не вызывало сомнений и было нормой научного мышления. Мало того, считалось совершенно самоочевидным, что все процессы, происходящие в данный момент времени в пространстве всей Вселенной, будут одновременными, на чем как раз и основаны преобразования Галилея.

Но все изменилось, когда Майкельсон и Морли в последней трети XIX века обнаружили эффект постоянства скорости света, то есть ее независимость от движения источника (неаддитивность). Многочисленные попытки избавиться от этого парадокса стали центральной проблемой механики на целое десятилетие

и связаны с именами крупнейших физиков того времени, но только Эйнштейну удалось полностью решить эту проблему и ввести в научно-философский обиход новое толкование категории времени, а также попутно пространства, массы и энергии. Но для этого ему пришлось создать новый язык, в котором привычные понятия приобрели существенно иной смысл — это была теория относительности, две части которой СТО и ОТО кардинально изменили наши двухтысячелетние представления о мире.

Рассмотрим подробнее специальную теорию относительности (СТО) и вытекающие из нее новые научные и философские представления о категории времени. Это физическая теория пространства и времени и их взаимосвязи с материей и законами ее движения. В ней не рассматриваются эффекты, обусловленные гравитацией, и она создавалась с целью преодолеть трудности, возникшие в классической физике при попытках интерпретации оптических явлений в движущихся средах или при движении источника света. Основным парадоксом в рамках классической физики была независимость (неаддитивность) скорости света c от скорости источника v , то есть $c \pm v = c$, экспериментально доказанная в 1887 году американскими физиками А. Майкельсоном и Э. Морли (Нобелевская премия за 1907 год). Это нарушает преобразования Галилея (в частности, аддитивность скоростей движущихся друг относительно друга материальных тел), а также свидетельствует о невозможности обнаружения эмпирическим методом некой гипотетической светонесной среды — эфира. Последнее обстоятельство позволило Эйнштейну отказаться от концепции эфира как принципиально ненаблюдаемой сущности, а значит, не являющейся объектом естественных наук. Точно так же данную проблему понимал и Нильс Бор — «существует лишь то, что можно измерить», — и это положение стало нормой научной рациональности неклассического периода развития науки.

В основу СТО Эйнштейн положил два постулата:

- а) все инерциальные системы отсчета равноправны;
- б) скорость света в вакууме постоянна и не зависит от скорости источника.

Причем эта величина C является пределом для скоростей любых материальных процессов, по крайней мере, в наблюдаемой области реальности, и может считаться эталоном скорости, который нам дала сама природа. Математическую основу СТО составляют альтернативные преобразования Галилея, преобразования координат и времени при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую, которая движется со скоростью v относительно первой. Это так называемые преобразования Лоренца, полученные в 1904 году выдающимся голландским физиком Х.А. Лоренцом, из которых следуют эффекты, получившие название замедления времени: $t = t_0 / (1 - \beta^2)^{1/2}$ и сокращения длины: $s = s_0 (1 - \beta^2)^{1/2}$, где $\beta = v/c$, и оно всегда меньше единицы. К этим соотношениям Эйнштейн дополнительно вывел формулы увеличения массы движущегося тела по сравнению с его массой покоя: $m = m_0 / (1 - \beta^2)^{1/2}$ и знаменитую формулу связи энергии с массой покоя материальных тел: $E = mc^2$.

Эти соотношения показывают, что в движущейся системе отсчета время течет (пусть «течет» — это метафора) медленнее, линейные размеры тел, измеренные в направлении движения, меньше, а масса тел больше по отношению к тем же величинам в покоящейся системе. Чтобы популярно и убедительно объяснить эффект неодновременности в разных системах отсчета, выраженный формулой $t = t_0 / (1 - \beta^2)^{1/2}$, и, следовательно, показать относительный и локальный характер времени, Эйнштейн придумал мысленный эксперимент, получивший название «Поезд Эйнштейна» (рис. 1). В вагоне поезда по вертикали от потолка к полу движется луч света и предполагается, что скорость поезда v достаточно велика — близка к скорости света C . Для внутреннего наблюдателя с его часами, измеряющими время $T_{ваг.}$, справедливо равенство: $b = C * T_{ваг.}$, поскольку он видит луч, падающий по вертикали b .

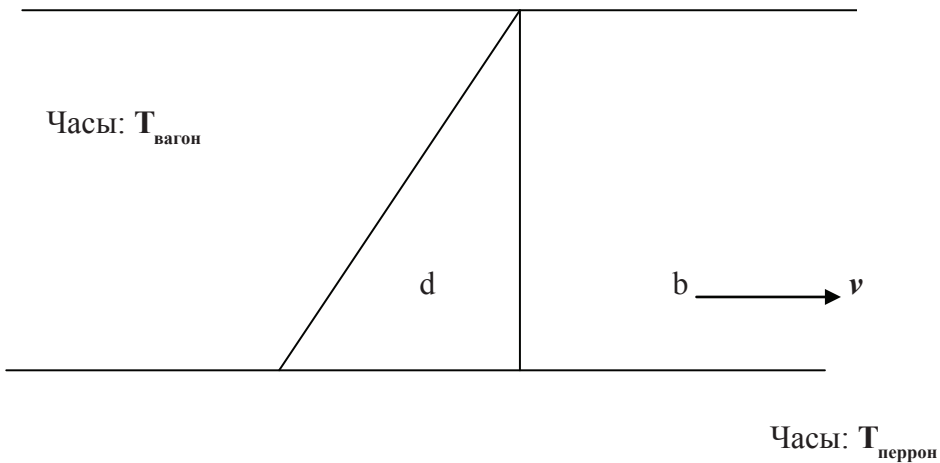


Рис. 1. Схема мысленного эксперимента «Поезд Эйнштейна»

Наблюдатель же, находящийся на перроне со своими часами, показывающими время $T_{перр.}$, в силу векторного сложения скоростей поезда и света, видит луч, идущий по косо́й траектории $d = C * T_{перр.}$, а также фиксирует ее отклонение от вертикали вследствие движения поезда как: $a = v * T_{перр.}$. Параметры a, b, d связаны теоремой Пифагора: $d^2 = a^2 + b^2$, откуда и следует соотношение: $T_{перр.} = T_{ваг.} / (1 - v^2 / C^2)^{1/2}$, — а это и есть нарушение одновременности в разных системах отсчета. То есть получается, что время на перроне (неподвижная система отсчета) как бы «течет» медленнее, чем в движущемся поезде, хотя часы были предварительно точно синхронизированы.

Объяснение этого факта состоит в том, что, в отличие от классических положений галилеевской и ньютоновской физики об абсолютном времени, характерном для всей Вселенной, в теории Эйнштейна время следует понимать как локальное и относительное, «текущее» в разных системах отсчета по-разному относительно друг друга, причем только конкретное измерение может дать ответ на вопрос «Который час в вашей системе?». Но для этого

нужно туда послать сигнал и затем получить ответ, а поскольку скорость света есть предел возможных скоростей во Вселенной, то в случае больших расстояний и при больших скоростях взаимного движения этих двух систем мы неизбежно столкнемся как с запаздыванием ответа, так и с несинхронностью хода часов, а следовательно, зарегистрируем неодновременность событий как точный экспериментальный факт. И хотя на первый взгляд это выглядит очень странно, тем не менее, как заметил Р. Фейнман, это вполне согласуется с нашим способом измерять время [8: с. 26], что делает эту ситуацию объективной. В традиционной же физике идея одновременности чисто умозрительна и предполагает бесконечно большую скорость распространения сигнала, что нефизично.

В какой-либо третьей системе отсчета, движущейся относительно этих двух, расхождение времени (неодновременность событий) было бы совершенно другим, в соответствии с расстоянием и величиной относительной скорости движения, и т. д., — таким образом, в отличие от ньютоновской механики, в СТО вообще нельзя говорить о каком-то истинном «общевселенском» времени. «У каждого наблюдателя должен быть свой масштаб времени, измеряемого с помощью имеющихся у него часов, — разъясняет Стивен Хокинг, — и показания одинаковых часов, находящихся у разных наблюдателей, не обязательно согласуются... Иными словами, теория относительности покончила с абсолютным временем!» [10: с. 40]. Да, только так, отказавшись от идеи абсолютного пространства и времени, можно примирить наши философские и научные представления о мире с достоверным экспериментальным фактом — постоянством скорости света, которую теперь следует считать абсолютной и признать в качестве фундаментального свойства Вселенной. В пределах такой концепции время превращается в психологически удобный инструментальный параметр — в то, что показывают часы в системе того или иного наблюдателя.

Локальный характер времени и зависимость его хода от относительной скорости систем отсчета, в которых находятся наблюдатели, приводят с точки зрения классической ньютоновской физики к знаменитому логическому и физическому абсурду, который получил название «Парадокс близнецов» и многими людьми, далекими от физики, все еще так и воспринимается. Парадокс близнецов возникает как результат мысленного эксперимента, в котором следствия, вытекающие из специальной теории относительности, трактуются в терминах, имеющих привычный смысл в классической физике, — поэтому в языке ньютоновской механики они и воспринимаются как логическое противоречие. Рассуждения заключаются в том, что если один из братьев-близнецов, родившихся на Земле, отправится в космическое путешествие с субсветовой скоростью v и вернется через некоторое время на Землю, где остался другой брат, то, согласно эффекту неодновременности, следующему из СТО, интервал времени, отмеренный по часам брата-космонавта в космическом

корабле (например, 1 год полета туда и обратно) t_K , не совпадет с временем t_3 , которое отмерено на Земле по часам брата-землянина.

Темпоральный разрыв между Землей и космическим кораблем, в зависимости от относительной скорости движения, согласно СТО, выражается формулой: $t_3 = t_K / (1 - v^2 / c^2)^{1/2}$, то есть получается, что время на Земле (только относительно именно этого корабля) в соответствующей пропорции «текло» быстрее, и таким образом, оставшийся брат, который жил по земному времени, состарился на несколько лет, тогда как брат-путешественник стал старше всего на 1 год — то есть на время своего полета туда и обратно. Можно придумать ситуацию, в которой брат-космонавт, вернувшись на Землю после очень длительного полета почти со скоростью света, окажется даже «моложе» своих племянников, а то и внуков — эффекты замедления времени возрастают с ростом скорости.

Да, с точки зрения классической физики Ньютона, где время считается абсолютной характеристикой мира и равномерно течет во всей Вселенной, такие выводы абсурдны и приводят к логическому парадоксу, что послужило в свое время поводом для многочисленных дискуссий. Разрешить этот парадокс в логике классической механики действительно невозможно, но в логике теории относительности это пытались сделать, обратив внимание на то, что в силу симметрии преобразований Лоренца, согласно принципу относительности равномерного движения, а также равноценности любых инерциальных систем отсчета, все рассуждения чисто формально и не выходя за рамки СТО, можно привязать как к системе Земного шара, так и к системе космического корабля. Тогда нетрудно прийти к выводу, что с точки зрения брата-космонавта его собственная система отсчета находится в покое, а Земля и брат, оставшийся на ней, движутся с соответствующей скоростью — значит, в той же мере, согласно СТО, время замедлялось и для него. Следовательно, суммарный эффект темпорального сдвига между кораблем и земным шаром нивелируется, и братья стареют синхронно.

Однако такие возражения носят чисто спекулятивный характер и не обладают признаками научности, поскольку игнорируют принципы верификации и фальсификации, которые требуют выполнения условий эмпирической проверяемости. Чтобы подтвердить или опровергнуть выводы СТО для данного случая, необходимо вернуть брата-космонавта на Землю и сравнить показания часов, но для этого корабль должен изменить траекторию движения, а следовательно, испытать ускорение под действием сил инерции, что переводит его к неинерциальной системе координат. Ничего такого наблюдатель, оставшийся на Земле, не испытывает, поэтому, как заметил в этой связи Ричард Фейнман, можно высказать такое правило: «Тот, кто почувствовал ускорение, кто увидел, как вещи скатывались к стенке, и т. д., тот и окажется моложе. Разница между братьями имеет абсолютный смысл, и всё это вполне правильно» [8: с. 27]. Так что само время относительно, но временной разрыв абсолютен.

Конечно, в событиях реальной жизни этот эффект весьма мал, — даже в нашем примере, если скорость ракеты всего лишь на 10 % меньше, чем скорость света, то по земным часам пройдет времени только в 2,3 больше, чем по часам, находящимся в ракете, и временной сдвиг между близнецами составит примерно 2,3 года, а если ее скорость будет отличаться от c примерно на 1 %, тогда этот сдвиг во времени увеличится до 7 раз. Очевидно, что при современной ракетной технике и по отношению к объектам макромира такие рассуждения — это действительно не более, чем мысленный эксперимент. Однако в последние годы эффект замедления времени в системах отсчета, связанных с быстро движущимися объектами (например, короткоживущими космическими частицами или элементарными частицами, разогнанными до околосветовых скоростей в ускорителях), был проверен экспериментально и учитывается при проектировании ускорителей заряженных частиц.

Кроме того, он был подтвержден и другим способом — по расхождению показаний времени так называемых атомных часов, одни из которых были запущены на орбиту в спутнике (скорость порядка 8 км в секунду), а другие, точно такие же, остались на Земле. В этом случае разница во времени была ничтожной и зарегистрировать ее удалось сверхточными методами (используя так называемый эффект Мёссбауэра). В случае же движения космических частиц феномен «парадокса близнецов» проявляется очень заметно. Так, прямые статистически достоверные измерения показывают, что движущийся с субсветовой скоростью нестабильный мюон (m -мезон) существует в собственной системе отсчета примерно 10^{-6} сек, тогда как время его жизни относительно лабораторной системы отсчета оказывается приблизительно на два порядка больше (примерно 10^{-4} сек), — но тут уже скорость частицы отличается от скорости света всего лишь на сотые доли процента.

Таким образом, все эффекты, предсказанные СТО, в настоящее время подтверждены экспериментально и стали достоверными научными фактами, поэтому о парадоксе близнецов можно говорить лишь как о парадоксах ньютоновского мировидения и пережитках классического мышления, а само время, теперь уже на основе точных экспериментальных данных, толковать как то, что показывают часы в данной системе отсчета. Тогда, метафора «течение времени» соответствует тому, что стрелки часов в разных системах отсчета движутся друг по отношению к другу с разной скоростью (как и все прочие физические и даже биологические процессы — внутренние часы, построенные на биоритмах!), что и порождает между наблюдателями темпоральный разрыв, а само время как относительная длительность процессов в разных системах отсчета выступает как эпифеномен относительной скорости.

Можно на первый взгляд подумать, что «феномен близнецов» в СТО состоит в том, что эффекты теории относительности позволяют продлить биологическую жизнь того человека, который путешествует с субсветовой скоростью, но это не так: если, к примеру, генетически обоим братьям суждено

прожить по 70 лет, то каждый столько и проживет, но соответственно в своем темпоральном мире, то есть в собственной системе отсчета. Следовательно, здесь речь идет только о временном сдвиге между системами отсчета, движущимися относительно друг друга, а не об абсолютной длительности, которой в СТО не существует, и о том, что ньютоновское понятие одновременности и абсолютного времени — это приближение, достаточное только для относительно небольших скоростей, характерных для привычных нам земных повседневных условий, то есть для реальности макромира.

Говоря о достижениях Эйнштейна в СТО, все же необходимо отметить, что математический фундамент специальной теории относительности был заложен задолго до его работ несколькими выдающимися физиками и математиками XIX века, такими как Х.А. Лоренц, А. Пуанкаре и Д.Ф. Фицджеральд, которые, тем не менее, не смогли физически адекватно интерпретировать полученные математические результаты, потому что мыслили в русле классической парадигмы и пытались с чисто формально-математических позиций (долго и безуспешно) примирить результаты наблюдений Майкельсона и Морли и представления старой физики и философии.

По этому поводу Стивен Хокинг писал: «В течение восемнадцати лет такие люди, как Хендрик Лоренц и Джордж Фицджеральд, пытались согласовать эти наблюдения с общепринятыми представлениями о пространстве и времени. Они выдвинули *ad hoc* некоторые предположения, как, например, то, что объекты, двигаясь с большой скоростью, становятся короче (так называемое Лоренц-Фицджеральдовское сокращение длины. — *А.К.*), и весь каркас физики стал неуклюжим и уродливым. В 1905 году Эйнштейн предложил гораздо более привлекательную точку зрения, в которой время не рассматривалось как нечто отдельное и совершенно самостоятельное. Оно сливалось с пространством в четырехмерный объект, называемый пространство – время. Эйнштейна привели к этой мысли не столько результаты экспериментов, сколько желание заставить две части теории слиться в гармоничное целое. Этими двумя частями были законы, управляющие электрическими и магнитными полями, и законы, управляющие движением тел» [9: с. 51].

Однако помимо чисто рациональных соображений научного характера и стремления к математической красоте теории, Эйнштейном руководили и в некотором смысле иррациональные мотивы, источники которых лежат в области образно-художественного восприятия мира. Эйнштейн, обладая блестящей эрудицией, хорошо знал мировую литературу, в частности, произведения Ф.М. Достоевского, которые произвели на него огромное впечатление («Достоевский дал мне больше, чем Гаусс»). Это особенно касается так называемой притчи о грешнике из романа «Братья Карамазовы», где великий русский писатель в присущей ему своеобразной художественной форме, но совершенно отчетливо и недвусмысленно, выразил мысль об относительном характере пространства и времени, о том, что эти категории не абсолютны, а обретают смысл и значение

только через восприятие наблюдателя, то есть, если это выразить в терминах физики, — относительно его системы отсчета. «И присудили, чтобы он прошел во мраке квадрильон километров... и когда кончит он этот квадрильон, то тогда отворят ему райские двери и все простят... — Да это же биллион лет ходу!.. Что же вышло, когда дошел? — А только что ему отворили двери в рай и он вступил, то не пробыв еще двух секунд... воскликнул, что за эти две секунды не только квадрильон, но и квадрильон квадрильонов пройти можно да еще возвысив в квадрильонную степень» [2: т. 10, с. 149–150].

Можно не сомневаться, что представления такого рода о пространстве и времени не случайны и, по-видимому, восходят к архетипу, поскольку также отражены и в античной мифологии («Одиссея»), и в индийском эпосе, и даже в некоторых народных историях — один из примеров такого фольклора Полесья приводит В.В. Налимов [6: с. 73]. Таким образом, интуитивная и метафизическая догадка Эйнштейна о том, что аппарат теории относительности (преобразования Лоренца) — это не просто математический прием, позволяющий чисто формально обойти парадокс постоянства скорости света и сохранить абсолютный характер времени и одновременность, а строгая физическая модель, отражающая фундаментальные свойства мира — не абсолютный и глобальный, а локальный характер пространства и времени и абсолютную и постоянную величину скорости света. Это соединение разных семантических полей может рассматриваться как пример смыслопорождения, которое произошло при взаимодействии двух текстов: естественно-научного, рационально-логического и гуманитарного, образно-художественного [5: с. 155–162; 636]. В этом отношении, несмотря на огромный вклад выдающихся предшественников, фактически создателем специальной теории относительности (как адекватной физической модели и новой концепции пространства – времени) является именно Альберт Эйнштейн.

Вскоре после публикации работ Эйнштейна выдающийся математик (и его учитель) Герман Минковский ввел для универсального описания движения особую систему координат — четырехмерное псевдоэвклидово пространство – время, в котором кратчайшее расстояние между двумя точками (метрика пространства s) определяется четырехмерной теоремой Пифагора: $s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$. Это так называемый пространственно-временной континуум Минковского, в котором время, как таковое, отдельно не представлено, а входит в это уравнение, умноженное на скорость света, и в некотором смысле обладает пространственной сущностью. Как говорил сам Минковский, теперь время и пространство сами по себе превращаются в бледные тени, и только их комбинация представляет собой некоторую реальность [4: с. 196], но это уже новая неклассическая философия.

Теперь рассмотрим более детально общую теорию относительности (ОТО), которая представляет собой дальнейшее развитие теории тяготения и в которой ньютоновское понятие гравитационной силы, свойственной массам всех материальных тел и описывающейся законом всемирного тяготения, трактуется как

проявление геометрической кривизны пространства, искривленного в данной области находящимися там тяготеющими массами. Эйнштейн разработал ОТО в 1915–1917 годах, используя пространство Минковского и обобщив СТО на неинерциальные системы отсчета. Он добавил к этому постулат о тождественности гравитационной и инертной масс, откуда следует, что гравитация и ускорение эквивалентны, а также выдвинул идею о том, что геометрия пространства – времени учитывает распределение материи, а то, что в ньютоновской картине мира понимается как сила гравитации, в новых представлениях соответствует искривлению пространства – времени тяготеющими массами.

Уравнения ОТО описывают изменение геометрических свойств пространства – времени (пространственно-временную метрику) в зависимости от взаимного расположения тяготеющих масс, что не только эквивалентно ньютоновской интерпретации, в которой массивные тела создают ту или иную конфигурацию силовых полей тяготения, описываемых законом всемирного тяготения, но и выявляют более тонкие эффекты, не учитываемые в ньютоновской модели. Таковыми являются:

- а) искривление светового луча в поле тяготения,
- б) смещение перигелия орбиты планеты Меркурий под воздействием гравитации Солнца,
- в) так называемое гравитационное красное смещение.

Все три эффекта в настоящее время проверены экспериментально и количественно с достаточной точностью соответствуют предсказаниям ОТО. Для описания конфигурации искривленного пространства – времени (пространственно-временной метрики) Эйнштейн воспользовался римановой криволинейной геометрией — неевклидовой геометрией пространства с переменной кривизной и математическим аппаратом тензорного анализа. Записанные в тензорных обозначениях законы сохранения инвариантны (то есть не изменяются) относительно любых реально существующих систем отсчета. Понятие прямых линий, по которым в классической механике движется луч света, заменено в ОТО на понятие наиболее прямых траекторий (то есть геодезических линий в данном кривом пространстве), форма которых определяется структурой искривленного пространства – времени. Например, все тела, свободно падающие в поле тяготения Земли или любого другого объекта, движутся по геодезическим траекториям пространства – времени.

На основании ОТО Эйнштейн предсказал упоминавшиеся выше три астрономических эффекта, — одним из важнейших было искривление траектории светового луча, проходящего вблизи массивных тел, например, звезд. Этот эффект получил экспериментальное подтверждение в 1919 году, когда английский астроном Артур Эддингтон, наблюдая положение далеких звезд во время солнечного затмения (когда солнечный свет не мешает наблюдениям), сравнил его с фотографиями звездного неба в обычное время и обнаружил предсказанное Эйнштейном отклонение на $1,75''$. Точность этого

эксперимента была невелика (величина погрешности почти равнялась величине эффекта), однако впоследствии эти измерения были неоднократно проведены с достаточной статистической точностью.

Эффекты красного смещения частоты света при движении луча против сил гравитационного поля (снизу вверх) и фиолетового смещения, возникающие в противном случае (сверху вниз), которые были предсказаны Эйнштейном на основании ОТО, также доказаны экспериментально в 1962 году, посредством прецизионных измерений с использованием излучения лазера. Уменьшение частоты (а значит, увеличение длины) световых волн в зависимости от величины напряженности поля гравитации соответствует замедлению хода времени, то есть и здесь, как и в СТО, получается, что «течение» времени определяется частотой колебаний и время по-прежнему выглядит как эпифеномен скорости процессов.

Стивен Хокинг, отмечая большое прикладное значение этих эффектов, пишет: «Нижние часы, которые были ближе к Земле, в точном соответствии с общей теорией относительности, идут медленнее, чем верхние. Разница хода часов на разной высоте над поверхностью Земли, — указывает он, — приобрела сейчас огромное практическое значение в связи с появлением очень точных навигационных систем, работающих от сигналов со спутников. Если не принимать во внимание предсказаний общей теории относительности, то координаты будут рассчитаны с ошибкой в несколько километров» [9: с. 150].

Необходимо заметить, что факт независимости скорости света (в вакууме) от относительной скорости источника и приемника не нарушает закон сохранения энергии, поскольку в результате эффекта Доплера происходит изменение длины волны (и, следовательно, частоты) света так, что при относительном движении источника и приемника навстречу друг другу частота электромагнитных колебаний увеличивается (фиолетовое смещение), а при движении в противоположном направлении частота уменьшается (красное смещение). Поскольку энергия электромагнитных колебаний E связана с частотой n по формуле $E = hn$, где h — постоянная Планка, то очевидно, что при встречном движении энергия фотонов (квантов электромагнитного поля) возрастает, а в обратном случае — уменьшается, хотя скорость относительного движения фотонов во всех системах отсчета всегда равна скорости света. В настоящее время существуют и альтернативные теории тяготения, но достаточно широкие объяснительные возможности теории относительности пока оставляют за ней право считаться универсальной моделью гравитации.

Локальное замедление времени может быть обусловлено и другими причинами. Согласно ОТО — общей теории относительности, на ход времени влияет также и гравитация, — например, вблизи массивной звезды время течет медленнее, чем в удаленной системе отсчета, откуда ведется наблюдение, а вблизи такого объекта, как черная дыра, время практически полностью останавливается — то есть все процессы, протекающие в этой области, с точки зрения наблюдателя, находящегося в удаленной системе отсчета, происходят с бесконечно малой скоростью. А это как раз и соответствует упоминаемой

ранее умозрительной ситуации (придуманной Дж. Беркли), когда фактически ничего, что вообще можно наблюдать (движение, изменение и т. п.), не происходит, а значит, нет ни «до», ни «после» и такое понятие, как время (коль скоро оно локально, относительно и понимается как эпифеномен движения), просто теряет смысл.

Из уравнений ОТО, отображающих фундаментальные свойства Вселенной, вытекают три решения — стационарное, которое получил сам Эйнштейн и которое не находило должного обоснования, и два нестационарных, которые в 1922 году нашел русский ученый А.А. Фридман, доказавший тем самым возможность нестационарного характера Вселенной. Именно эти два решения лежат в основе теории эволюции Вселенной (стандартная модель Большого взрыва), и одно из них, описывающее расширение космического пространства (разбегание галактик), получило экспериментальное подтверждение и оформлено в так называемом законе Хаббла. Общая теория относительности обусловила бурное развитие космологии как самостоятельной научной дисциплины и, несмотря на целый ряд появившихся к концу XX века альтернативных теорий гравитации, подвергающих ее критике, по-прежнему лежит в основе современной космологической парадигмы. Более того, введенный Эйнштейном в теорию эволюции Вселенной космологический параметр (так называемый λ -член, который он называл величайшей ошибкой своей жизни), учитывается в современной космологической теории как важный параметр и считается великим прозрением Эйнштейна.

Следует особенно обратить внимание на то, что великий физик отнюдь не пренебрегал философией — наоборот, так же как и его выдающиеся современники (Бор, Шредингер, Гейзенберг, Паули и др.), он размышлял и над философскими основаниями новой физики, и над принципами интерпретации ее парадоксальных для классического сознания открытий, и вообще, над принципами научной рациональности, которые могли бы быть наиболее перспективными в этот необычный период развития науки. Эйнштейн по этому поводу писал: «Результаты научного исследования очень часто вызывают изменения в философских взглядах на проблемы, которые распространяются далеко за пределы ограниченных областей самой науки. Какова цель науки? Что требуется от теории, которая стремится описать природу? Эти вопросы, хотя и выходят за пределы физики, близко связаны с ней, так как наука дает тот материал, из которого они вырастают. Философские обобщения должны основываться на научных результатах. Однако, раз возникнув и получив широкое распространение, они очень часто влияют на дальнейшее развитие научной мысли, указывая одну из многих возможных линий развития. Успешное восстание против принятого взгляда имеет своим результатом неожиданное и совершенно новое развитие, становясь источником новых философских воззрений» [11: с. 47–48].

Он считал, что любая научная теория неизбежно требует метафизических оснований и понимал, что ни одна из существующих в то время философских

систем не могла быть адекватной новым знаниям, что новая неклассическая физика требует соответствующей ей новой философии, поэтому за неимением лучшего он брал из различных систем то, что, на его взгляд, могло коррелировать с этими знаниями. Это можно расценить как философский синкретизм, но в любом случае это лучше, чем приверженность философским догмам, которые не поспевают за новыми знаниями и, превращаясь в некое подобие религии, создают когнитивные препятствия на пути познания мира [6: с. 442].

Да, в вопросах методологии познания Эйнштейн занимал двойственную позицию. С одной стороны, он, подобно философам Канту, Джеймсу, Маху и др., а также физикам и математикам Пуанкаре, Планку, Больцману, Винеру и др., считал, что между реальностью природных явлений и понятиями научных теорий соответствие весьма условно и они необходимы для упорядочения результатов эмпирической деятельности, — «Физические понятия — суть свободные творения человеческого разума, а не определены однозначно внешним миром, как это иногда может показаться» [11: с. 30]. Сравнивая естествоиспытателя, рисующего картину мира, с человеком, желающим понять принцип устройства закрытых часов, Эйнштейн указывал на то, что ученый «никогда не может быть уверен в том, что его картина единственная, которая могла бы объяснить его наблюдения. Он никогда не будет в состоянии сравнить свою картину с реальным механизмом и даже не сможет представить себе возможность и смысл такого сравнения» [11: с. 30].

С другой стороны, Эйнштейн все же верил в огромные возможности человеческого разума и научного познания мира, и особенно в мощь методов математического моделирования. В книге «Мир, каким я вижу его» он утверждал, что: «Весь предшествующий опыт убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Конечно, опыт остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики, но настоящее творческое начало присуще именно математике» [4: с. 236].

Что касается предмета этой работы — категории времени, то Эйнштейн понимал не только его относительность и локальный характер (как математический параметр и физическую сущность), но и осознавал его категориальную неопределенность, а также психологически ощущал эфемерность времени, о чем свидетельствует его письмо по поводу кончины одного из немногих близких друзей (Мишеля Бессо). В этом письме родным покойного создатель теории относительности пишет: «Своим прощанием с этим удивительным миром он несколько опередил меня. Но это ничего не значит. Для нас, убежденных физиков, различие между прошлым, настоящим и будущим — не более чем иллюзия, хотя и весьма навязчивая». Здесь можно догадаться, что Эйнштейн рассматривал все процессы с точки зрения пространства Минковского,

то есть в статичной пространственно-геометрической форме: «Мир событий, — писал он, — может быть описан динамически с помощью картины, изменяющейся во времени и набросанной на фоне трехмерного пространства. Но он может быть также описан посредством статической картины, набросанной на фоне четырехмерного пространственно-временного континуума... С точки зрения теории относительности статическая картина более удобна и более объективна» [11: с. 173]. Тогда получается, что мы все проходим в некотором смысле один и тот же (одинаковый) жизненный путь s , но движемся по нему с разной скоростью v , откуда и выводится продолжительность жизни (то есть длительность существования $t = s/v$). И тогда именно скорость (и ее данный самой природой фундаментальный эталон — скорость света), в противоположность иллюзорному времени, представляет собой истинную реальность.

Однако не все согласны считать время иллюзией. Один из создателей синергетики выдающийся бельгийский ученый И. Пригожин ссылается на эти слова Эйнштейна как на пример его «динамической» трактовки времени и редукционистской интерпретации процессов движения, то есть такого подхода, который принципиально отрицает необратимость времени («стрелу времени», по терминологии А. Эддингтона). Односторонность такого подхода Пригожин видит в том, что как в классической динамике, так и в теории относительности рассматривается механическое движение некоторого уже состоявшегося объекта как целого (где время — это просто текущая координата длительности, упорядочивающая ход событий), тогда как процессы становления объектов и структур, в их самоорганизации и саморазвитии, которые рассматриваются в неравновесной термодинамике, характеризуются большой степенью стохастичности (случайности) и, следовательно, необратимы по своей природе, так что не поддаются описанию динамическими уравнениями [7]. Как раз такие процессы сопутствуют существованию сложных систем и живых организмов, порождая необратимую стрелу времени вследствие необратимого увеличения энтропии, но это уже чисто термодинамический подход, выходящий за пределы механики и оперирующий категориями случайности и вероятности, которые в принципе отсутствуют в динамической картине мира.

Именно язык (то есть математический аппарат) термодинамики необратимых процессов и синергетики, оперируя понятиями энтропии, стохастичности, чувствительной зависимости от начальных условий, бифуркации и тому подобными категориями самоорганизации и саморазвития сложных систем, позволяет научно обосновать антидетерминистские философские представления о необратимости текущего времени и невозможности вернуть прошлое, тогда как язык механики (как Ньютона, так и Эйнштейна) оперирует динамическими уравнениями, в которые параметр времени t входит обратимо, а траектории движения содержат время в квадрате, — поэтому в этом языке время обратимо, а прошлое и будущее симметрично. Так что здесь в самом деле время иллюзорно, а под именем времени, как сказано выше, подразумевается просто относительная длительность процесса,

определяемая его скоростью. Истинную же природу времени как «возникновения чего-то нового» (А. Бергсон «Творческая эволюция») разъясняет нам синергетика и возвращает его в новой ипостаси в философский обиход. Этим примером еще раз иллюстрируется логическая и семантическая несоизмеримость и дискретность различных теорий (как языков описания и интерпретации), описывающих различные уровни реальности, которую мы априори считаем цельной и неделимой, а также здесь проявляется неоднозначность (как минимум двойственность) такого фундаментального для философии понятия, как время, что, однако, не делает его абсолютным.

Создатель теории относительности прекрасно понимал возможности науки своего периода, которая в ряде фундаментальных случаев дала нам математические и физические ответы на вопросы: «как?» и «по какому закону?» это происходит, но верил в то, что наука со временем сможет перейти от этих физических вопросов к вопросам метафизическим: «почему?» и «с какой целью?» это происходит. «Мы хотим, — говорил он, — не только знать, как устроена природа (и как происходят природные явления), но и, по возможности, достичь цели, может быть утопической и дерзкой на вид, — узнать, почему природа является именно такой, а не какой-либо другой». Сейчас не подлежит сомнению, что новая физика требует новой философии и деконструкции (или реконструкции) самых фундаментальных и, казалось бы, незыблемых понятий и категорий, а грандиозную задачу познания мира можно решить только на основе междисциплинарного синтеза всех естественнонаучных и гуманитарных знаний и интегративного стиля мышления.

Литература

1. *Витгенштейн Л.* Философские работы. Ч. 1. ЛФТ. М.: Гнозис, 1994. 612 с.
2. *Достоевский Ф.М.* Братья Карамазовы // Собр. соч.: в 15 т. Т. 10. СПб.: Наука, 1994. 448 с.
3. *Каменев А.С.* Математика и зеркало природы // Вестник МГПУ. Серия «Философские науки». 2011. Т. 1. С. 95–111.
4. *Клайн М.* Математика. Поиск истины. М.: Мир, 1988. 295 с.
5. *Лотман Ю.М.* Семиосфера. СПб.: Искусство, 2001. 704 с.
6. *Налимов В.В., Драгалина Ж.А.* Реальность нереального. М.: Мир идей, 1995. 432 с.
7. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1984. 432 с.
8. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Т. 2. М.: Мир, 1967. 168 с.
9. *Хокинг Ст.* Черные дыры и молодые Вселенные. СПб.: Амфора, 2001. 189 с.
10. *Хокинг Ст.* Краткая история времени. СПб.: Амфора, 2000. 268 с.
11. *Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. М.: Наука, 1965. 328 с.

Literatura

1. *Vitgenshtejn L.* Filozofskie raboty'. Ch. 1. LFT. M.: Gnozis, 1994. 612 s.

2. *Dostoevskij F.M. Brat'ya Karamazovy' // Sobr. soch.: v 15 t. T. 10. SPb.: Nauka, 1994. 448 s.*
3. *Kamenev A.S. Matematika i zerkalo prirody' // Vestnik MGPU. Seriya «Filosofskie nauki». 2011. T. 1. S. 95–111.*
4. *Klajn M. Matematika. Poisk istiny'. M.: Mir, 1988. 295 s.*
5. *Lotman Yu.M. Semiosfera. SPb.: Iskusstvo, 2001. 704 s.*
6. *Nalimov V.V., Dragalina Zh.A. Real'nost' nereal'nogo. M.: Mir idej, 1995. 432 s.*
7. *Prigozhin I., Stengers I. Poryadok iz xaosa. M.: Progress, 1984. 432 s.*
8. *Fejnman R., Lejton R., Se'nds M. Fejnmanovskie lekcii po fizike. T. 2. M.: Mir, 1967. 168 s.*
9. *Xoking St. Cherny'e dy'ry' i molody'e Vselenny'e. SPb.: Amfora, 2001. 189 s.*
10. *Xoking St. Kratkaya istoriya vremeni. SPb.: Amfora, 2000. 268 s.*
11. *E'jnshtejn A., Infel'd L. E'volyuciya fiziki. M.: Nauka, 1965. 328 s.*

A.S. Kamenev

Einstein's Relativity Theory and Some Philosophical Problems of Time

The article considers the concept of “time” and the author makes an attempt of its philosophical reconstruction on the basis of the results, ensuing from Einstein's special and general theories of relativity.

Keywords: space; time; duration; metaphoricity; process; speed of light; gravity; “twin paradox”; dynamics; thermodynamics.