

ОТКРЫТАЯ КАФЕДРА

П. П. ГАЙДЕНКО

Понимание времени Статья вторая

ПОНЯТИЕ ВРЕМЕНИ
В ФИЛОСОФИИ НАУКИ
КОНЦА XIX —
НАЧАЛА XX В.
А. ЭЙНШТЕЙН

Хорошо известно, что принцип относительности является одним из основных постулатов классической механики. После появления теории относительности Эйнштейна его часто называют принципом относительности в узком смысле. Он был сформулирован Галилеем и состоит в утверждении, что если система отсчета *A* движется равномерно и без вращения относительно системы *B*, то явления природы протекают по одним и тем же общим законам в обеих системах отсчета. Относительно Галилеевой системы отсчета выполняется основной закон классической механики — закон инерции, в котором, в сущности, указывается, как меняется положение движущегося тела со временем. Дать описание движения — значит указать для каждой точки траектории момент времени, когда тело находится в данной точке.

Механика Галилея — Декарта — Ньютона принимает как не подлежащие сомнению следующие утверждения относительно

времени и пространства: промежуток времени между двумя событиями не зависит от состояния движения тела отсчета, так же как от состояния движения тела отсчета не зависит расстояние между двумя точками твердого тела. Нам здесь важно отметить, что в классической физике указания времени абсолютны в том смысле, что не зависят от состояния движения системы отсчета. Время в механике Галилея — Ньютона хотя и утрачивает свойство необратимости¹, но играет более самостоятельную роль, чем пространственные координаты, а потому рассматривается как самостоятельный континуум. И, наконец, в классической механике принципиальную роль играет понятие одновременности событий, происходящих в как угодно отдаленных друг от друга уголках Вселенной; возможность всемирной одновременности, которая позволяет представить себе «физическое время как движущее-

¹ О том, что классическая физика преодолевает необратимость времени и утверждает полную симметрию прошлого и будущего, хорошо сказал французский математик П. Лаплас: «Мы должны рассматривать настоящее состояние Вселенной как следствие ее предыдущего состояния и как причину последующего. Уму, которому были бы известны для данного момента все силы, обуславливающие природу и относительные положения всех ее составных частей, если бы вдобавок он оказался достаточно обширным, чтобы подчинить эти данные анализу... не оставалось бы ничего, что было бы для него недостоверно, и будущее, так же как и прошлое, предстало бы перед его взором» (Лаплас П. Опыт философии теории вероятностей. М., 1908. С. 9).

ся вперед лезвие огромного ножа»¹, является философской предпосылкой классической механики.

Мы уже видели, как были подвергнуты критике эти представления о времени у Маха, и особенно у Пуанкаре, показавшего несостоятельность понятия одновременности. Именно на них опирается Эйнштейн, вскрывая противоречие между принципом относительности в его галилеевско-ньютоновском понимании, с одной стороны, и законом распространения света — с другой. «Согласно принципу относительности, — поясняет Эйнштейн, — закон распространения света в пустоте... должен бы быть одинаковым как для полотна железной дороги, принимаемого в качестве тела отсчета, так и для вагона. Но... это кажется невозможным. Если всякий световой луч распространяется относительно полотна дороги со скоростью c , то, казалось бы, поэтому скорость распространения света относительно вагона должна быть иной — в противоречии с принципом относительности»². И в самом деле, если вагон движется со скоростью v в том же направлении, в каком распространяется свет, то скорость света относительно вагона будет меньше c , она будет равна $c - v$. Чтобы разрешить это противоречие, надо отказаться либо от принципа относительности в его классическом — галилеевском — понимании, либо от закона распространения света в пустоте. Но исследованием Г. Лоренцом электродинамических и оптических явлений показали, что закон постоянства скорости света в пустоте должен лежать в основе теории

электромагнетизма. У Лоренца этот закон базируется на гипотезе неподвижного эфира³. Эйнштейн убежден, что именно постоянство скорости света является основным инвариантом, на которое может опираться физическая наука⁴. Но при этом он убежден, что есть возможность разрешить указанное противоречие, не отказываясь и от принципа относительности. Для этого необходимо переосмыслить традиционные для физики представления о времени и пространстве — переосмыслить, идя в том направлении, которое было указано Махом и Пуанкаре. «Здесь и выступила на сцену теория относительности. В результате анализа физических понятий времени и пространства было показано, что в действительности принцип относительности и закон распространения света совместимы и что, систематически придерживаясь обоих этих законов, можно построить логически безупречную теорию. Основные положения этой теории в отличие от ее обобщения мы называем «специальной теорией относительности»⁵.

В чем же состоит пересмотр понятий времени и пространства, осуществленный Эйнштейном в специальной теории относительности (СТО)?

Прежде всего, Эйнштейн отвергает традиционное понятие одновременности, доказывая *относительность одновременности*. «События, одновременные относительно полотна железной дороги, не являются одновременными по отношению к поезду, и наоборот... Всякое тело отсчета (система координат) имеет свое особое время; указание

¹ Уитроу Дж. Естественная философия времени. М.: УРСС, 2003. С. 379.

² Эйнштейн А. Физика и реальность. М.: Наука, 1965. С. 176.

³ Позднее, в 1912 г., Эйнштейн писал, что постулат о независимости скорости света от движения источника он «позаимствовал из лоренцевской теории покоящегося эфира...» (Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. 1. М.: Наука, 1965. С. 219).

⁴ Как подчеркнул немецкий исследователь Клаус Борхард, анализируя специальную теорию относительности, Эйнштейн вводит своего рода новый абсолют — движение света. Согласно Эйнштейну, «в природе ничто не может подтвердить наши представления об абсолютном покое, но существует одно абсолютное движение, а именно движение света (под «светом» следует понимать все электромагнитные излучения...)» (Borhard K. Die Zeit im Lichte der Technik // Zeitbegriffe und Zeiterfahrung, hrsg. von H. M. Baumgartner. Karl Alber Verlag, Freiburg-Muenchen. 1994. S. 156).

⁵ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 177.

времени имеет смысл лишь тогда, когда указывается тело отсчета, к которому оно относится»¹. Чтобы придать точный смысл понятию одновременности двух и более событий, Эйнштейн подчеркивает, что «время» того или иного события есть не что иное, как показание часов, находящихся близ этого события: именно часы обеспечивают выполнение принципа наблюдаемости, на котором основана специальная теория относительности².

Приняв принцип относительности одновременности³, Эйнштейн тем самым снимает несовместимость между постоянством скорости распространения света в пустоте и принципом относительности. Нельзя не отметить, однако, что еще в 1898 г. об относительности одновременности писал А. Пуанкаре в своей работе «Измерение времени». Определение понятия одновременности на основе постоянства скорости света, данное Эйнштейном, совпадает с определением, предложенным Пуанкаре. Что же касается *оперифорования* вместо времени более «наблюдаемым» предметом — часами, синхронизация которых производится световым сигналом, это, как пишут авторы «Послесловия к книге Пуанкаре «О науке», «уже были детали, характерные исключительно для того истолкования «местного» времени Лоренца, которое было дано Пуанкаре в работе 1900 г... Но в статье Эйнштейна (имеется в виду статья 1905 г. «К электродинамике движущихся тел». — П. Г.) изложение этих пунктов непосредственно предшество-

вало рассмотрению электродинамики движущегося тела, что значительно облегчало усвоение всей теории. Вот почему работа молодого ученого обратила на себя внимание и в дальнейшем способствовала усвоению идей теории относительности в большей мере, чем труды его знаменитых предшественников»⁴. В своей «Творческой автобиографии», написанной много лет спустя, Эйнштейн отмечает: «Общий принцип частной теории относительности содержится в постулате: законы физики инвариантны относительно преобразований Лоренца (дающих переход от одной инерциальной системы к любой другой инерциальной системе). Это есть ограничительный принцип для законов природы, который можно сравнить с лежащим в основе термодинамики ограничительным принципом несуществования *perpetuum mobile*»⁵.

ЗАВЕРШЕНИЕ РЕЛЯТИВИЗАЦИИ ПОНЯТИЯ ВРЕМЕНИ

В классической физике признавалось, что указания времени абсолютны, а значит, не зависят от состояния движения тела отсчета. Эта абсолютность времени в теории относительности устранена. Но не только: Эйнштейн показывает, что вместе с относительностью одновременности необходимо признать также изменение пространственных и временных масштабов в движущихся системах по отношению к покоящимся. «Движущаяся твердая линейка короче, чем та же линейка, находящаяся в покое, причем

¹ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 180.

² Время в физике, согласно Эйнштейну, есть показание часов. «Представим себе, что в точках А, В, С рельсового пути (системы координат) помещены одинаковые часы, стрелки которых одновременно показывают одинаковое время. Тогда под «временем» некоторого события подразумевается показание (положение стрелок) тех из часов, которые находятся в непосредственной близости к месту события. Следовательно, каждое событие связывается с таким значением времени, которое принципиально наблюдаемо» (Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 179).

³ Характерно, что принцип относительности одновременности некоторыми учеными был воспринят весьма критически. Так, ирландский физик А. Робб в своей книге «Абсолютные отношения времени и пространства» заявил, что такая относительность «превращает Вселенную в своего рода кошмар» (Robb F. The absolute relations of time and space. Cambridge University Press, 1921. P. 4).

⁴ Панов М. И., Тяпкин А. А., Шибанов А. С. Анри Пуанкаре и наука начала XX века // Пуанкаре А. О науке. 1983. С. 550.

⁵ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 152.

тем короче, чем быстрее она движется»¹. Аналогично дело обстоит и со временем: часы в движущейся системе идут медленнее, чем в состоянии покоя². При этом кардинальную роль играет принцип постоянства скорости света: последняя является той предельной скоростью, которой не может достигнуть, а тем более превзойти скорость какого-либо тела. Как видим, совместимость принципа относительности и закона постоянства скорости света оказалась возможной благодаря пересмотру фундаментальных понятий классической физики — пространства и времени. В релятивистской физике, а именно в специальной теории относительности, с точки зрения любой выбранной системы отсчета все часы систем, движущихся равномерно относительно выбранной, кажутся (обратим внимание: *кажутся наблюдателю* выбранной системы) запаздывающими. Иначе говоря, течение событий, находящихся в относительном движении, замедлено. Это замедление (удлинение) времени противоположно сокращению длины в движущихся системах по сравнению с неподвижной. Как поясняет М. Борн, при создании специальной теории относительности Эйнштейн внес определенные коррекци-

вы в теорию «локального времени» Г. Лоренца. «Время, которое показывают часы, покоящиеся в выбранной системе отсчета, называется *собственным временем* системы. Оно идентично «локальному времени» Лоренца. Шаг вперед, сделанный теорией Эйнштейна, заключается не в формулировании законов, а скорее в принципиальном изменении точки зрения на эти законы. Лоренц ввел локальное время как вспомогательную математическую величину в противоположность истинному абсолютному времени. Эйнштейн доказал, что не существует средств, позволяющих определить это абсолютное время или отличить его от бесконечного числа эквивалентных локальных времен в различных системах отсчета, находящихся в относительном движении. Но это значит, что абсолютное время не имеет реального физического смысла. Временные данные имеют смысл только относительно определенных систем отсчета. В этом заключается завершение релятивизации понятия времени»³. И действительно, частная теория относительности, как отмечает Эйнштейн, выросла из электродинамики «как поразительно простое обобщение и объединение ряда независимых друг от друга гипотез,

¹ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 185.

² С этим связан известный «парадокс часов», сформулированный Эйнштейном в 1911 г. на основе СТО и особенно сильно поразивший воображение не столько физиков, сколько околонуучной публики. «Если бы поместить живой организм в коробку... то можно было бы достичь того, что этот организм после сколь угодно длинных полетов сколь угодно мало изменившийся, снова возвратился бы на свое первоначальное место, в то время как совершенно такие же организмы, остававшиеся в покое на первоначальных местах, давно дали место новым поколениям. Для двигавшегося организма продолжительное время путешествия было одним моментом в том случае, если движение происходило со скоростью, близкой к скорости света» (Цит. по: Копф А. Основы теории относительности Эйнштейна. М.: Гостехиздат, 1933. С. 42). Первое мое знакомство с теорией относительности произошло в школе на уроке физики, когда наш учитель начал изложение этой теории именно с приведенного парадокса, чем потряс наше маленькое «научное сообщество» настолько, что ни о чем другом мы уже не могли говорить и думать. Любые — самые смелые — фантазии волшебных сказок меркли по сравнению с этой «реальностью». Интересно, что на VII Международном конгрессе по астронавтике в 1956 г. в Риме глава немецкой делегации в докладе «О возможности достижения неподвижных звезд» говорил о космических кораблях с ядерными двигателями, которые могут достичь скорости света и, возвратившись из путешествия, которое для них займет всего несколько дней, найдут своих детей уже стариками. Самое поразительное во всем этом то, что создатель теории относительности, отправлявшийся первоначально от самого крайнего эмпиризма — принципа наблюдаемости, который он разделял с Махом, пришел к столь глубоко «ненаблюдаемым» и самым фантастическим выводам.

³ Борн М. Эйнштейновская теория относительности. М.: Мир, 1972. С. 214.

на которых была основана электродинамика»¹.

Интересный методологический анализ электродинамики Лоренца и теории относительности Эйнштейна дает В. С. Степин в своей работе «Теоретическое знание». Он подчеркивает, что «Эйнштейн осуществил операцию конструктивного обоснования новых гипотетических свойств пространственно-временных интервалов, свойств, которые следовали из преобразования Лоренца. И эту операцию, которая связывала соответствующие величины с опытом и тем самым вводила преобразования Лоренца в качестве имеющих эмпирическую интерпретацию, — эту познавательную процедуру осуществил именно Эйнштейн. И это было как раз то самое недостающее звено, которое связывало отдельные мозаичные предположения, принципы и математические выражения в целостную систему новой физической теории»².

Важнейшей особенностью эйнштейновского метода было то, что он не затрагивал проблему структуры материи и все внимание сосредоточил на теории *измерения*. Не строя никаких гипотез о возможности реальных, т. е. структурных изменений длины и длительности (времени), вызываемых движением системы, Эйнштейн, по существу, исследует только *кажущиеся* изменения. Но именно потому, что эти изменения кажущиеся, они являются взаимными. «Как наблюдателю А кажется, что измерительный стержень наблюдателя В испытывает сжатие в направлении движения, так же и наблюдателю В кажется, что стержень А испытывает точно такое же сжатие. Как наблюдателю А кажется, что часы В идут медленнее, так и наблюдатель В в свою очередь полага-

ет, что часы А отстают от его собственных. В силу этой взаимности или относительности наблюдателей А и В Эйнштейн отбросил идею о светоносном эфире как преимущественной системе отсчета»³. Эта *кажимость* как фундаментальная предпосылка специальной теории относительности особенно интересна для уяснения философских оснований релятивистской физики. Интереснее всего то, что принцип кажимости вводится ученым, первоначально ориентировавшимся на последовательный эмпиризм и феноменологизм, отстаивавшим первостепенное значение наблюдаемости. Не в том ли лежит основной источник этой кажимости, что именно эмпирический подход требует акцента на субъективном моменте познания, на субъективном восприятии, наблюдении, — ведь наблюдение предполагает индивидуального наблюдателя. Принцип относительности, как его понимал Мах, предполагает, что предметом исследования физика должны быть не сами природные явления, а только их отношения к тем или иным системам отсчета. Как пишет в этой связи А. Д. Александров, при таком подходе «основным оказывается понятие инерциальной системы отсчета (координат) и исходной оказывается точка зрения относительности, не реальность «сама по себе», а реальность в ее относительном проявлении. Безотносительное же, т. е. то, что присуще явлению вне его отношения к какой-либо данной системе отсчета, определяется через относительное как инвариант преобразования координат. Иначе говоря, свойства предмета восстанавливаются по их проявлениям в разных отношениях»⁴. Это аналогично восстановлению формы предмета по его различным проекциям; проекция, как бы тень, отбрасываемая

¹ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 188.

² Степин В. С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция, 2000. С. 574. Надо сказать, что в своем исследовании В. С. Степин предложил интересную теоретическую реконструкцию логики становления теории относительности, показав, какую роль при этом сыграли открытия Лоренца, Пуанкаре, Минковского и Эйнштейна.

³ Уитроу Дж. Естественная философия времени. М.: УРСС, 2003. С. 272.

⁴ Александров А. Д. Теория относительности как теория абсолютного пространства-времени // Философские вопросы современной физики. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. С. 278.

предметом, оказывается способом постижения самого предмета. И в самом деле, последовательный эмпиризм опирается как на самое исходное в познании на *отношение объекта к воспринимающему его субъекту*. А потому кажимость с самого начала является фундаментальным моментом в познании.

Один из результатов общего характера, к которому привела СТО, по словам ее автора, относится к понятию массы. «Дорелятивистская физика знала два фундаментальных закона сохранения, а именно: закон сохранения энергии и закон сохранения массы; оба этих фундаментальных закона считались совершенно независимыми друг от друга. Теория относительности слила их в один»¹. И в самом деле, специальная теория относительности показала, что масса любого тела увеличивается с возрастанием его скорости. С точки зрения классической физики это невозможно — ведь с возрастанием скорости тела число молекул в нем не увеличивается. Надо полагать, что увеличение массы тела эквивалентно его кинетической энергии. «Можно сказать, что движущаяся масса ведет себя так, как будто она увеличивается, но физически это увеличение сводится к энергии тела»². В работе «Сущность теории относительности» Эйнштейн следующим образом подытожил этот результат релятивистского подхода: «...Масса и энергия сходны по существу — это только различные выражения одного и того же. Масса тела не постоянна; она меняется вместе с его энергией»³.

Для развития теории относительности, и прежде всего для интерпретации понятия времени, важную роль сыграло открытие математика Германа Минковского (1864–1909).

В 1907 г. в статье «Основные уравнения для электромагнитных процессов» Минковский изложил в математической форме свою концепцию объединения пространства и времени в четырехмерный континуум. Год спустя, в 1908 г., он выступил с докладом «Пространство и время» перед членами Общества естествоиспытателей в Кельне, где, разъясняя смысл своей концепции, сказал: «Воззрения на пространство и время, которые я намерен перед вами развить, возникли на экспериментально-физической основе. В этом их сила. Их тенденция радикальна. Отныне пространство само по себе и время само по себе должны обратиться в фикции, и лишь некоторый вид соединения обоих должен еще сохранить самостоятельность»⁴. Время, подчеркивал Минковский, всегда измерялось с помощью пространственных ориентиров, например с помощью колебаний маятника в пространстве или по расстоянию, которое проходят стрелки часов. С другой стороны, для измерения пространственных расстояний необходимо прибегать к времени⁵. Поэтому вполне понятная логика развития естествознания привела в конце концов к необходимости объединить время и пространство в некоторое четырехмерное многообразие. Как отмечает В. С. Степин, Минковский «разработал новую математическую форму специальной теории относительности и ввел в физическую картину мира целостный образ пространственно-временного континуума, характеризующегося абсолютностью пространственно-временных интервалов при относительности их разделения на пространственные и временные интервалы в каждой инерциальной системе отсчета»⁶.

¹ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 189.

² Клайн М. Математика. Поиск истины. М.: Мир, 1988. С. 194.

³ Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. 2. Работы по теории относительности 1921–1925 гг. М.: Наука, 1966. С. 87.

⁴ Принцип относительности. Г. А. Лоренц. А. Пуанкаре. А. Эйнштейн. Г. Минковский: Сб. раб. классиков релятивизма. М.-Л.: ОНТИ, 1935. С. 181.

⁵ «Никто еще не наблюдал какого-либо места иначе, чем в некоторый момент времени, и какое-нибудь время иначе, чем в некотором месте». Там же. С. 182.

⁶ Степин В. С. Теоретическое знание. С. 576–577.

Таким образом, мир, согласно Минковскому, представляет собой четырехмерный пространственно-временной континуум. Точку пространства в момент времени Минковский назвал *мировой точкой*, а всю совокупность мировых точек — *миром*. Частицу вещества, или электричества, существующую некоторое время, он охарактеризовал как «мировую линию», которая представляет собой кривую, точки которой принимают последовательные значения параметра t , связанного с часами, несомыми частицей. «Весь мир, — говорит Минковский, — представляется разложенным на такие мировые линии... Физические законы могли бы найти свое наисовершеннейшее выражение как взаимоотношения между этими мировыми линиями»¹. Как отмечает Дж. Уитроу, «целью Минковского было введение новой замены для ньютоновских абсолютного пространства и времени, отброшенных Эйнштейном. На их место он предлагал свой абсолютный «мир», который дает различные «проекции» в пространстве и во времени для различных наблюдателей (связанных с инерциальными системами отсчета)»².

Эйнштейн считал открытие Минковского важным для формального развития теории относительности. Это открытие, по его словам, состоит в «осознании того, что четырехмерный пространственно-временной континуум теории относительности по своим основным формальным свойствам глубоко родствен трехмерному континууму евклидовой геометрии. Для полного выявления

этого родства необходимо вместо обычной временной координаты t ввести пропорциональную ей мнимую величину $U - 1 ct$. Но тогда законы природы, удовлетворяющие требованиям (специальной) теории относительности, принимают такую математическую форму, в которой временная координата играет точно такую же роль, как и три пространственные координаты. Формально эти четыре координаты совершенно точно соответствуют трем пространственным координатам евклидовой геометрии»³.

ОТ СПЕЦИАЛЬНОЙ К ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

По признанию Эйнштейна, уже в 1908 г. стало очевидным, что специальная теория относительности представляет лишь первый шаг в необходимом развитии, поскольку «в ее рамках нет места для удовлетворительной теории тяготения. И вот мне пришло в голову: факт равенства инертной и весовой массы, или, иначе, тот факт, что ускорение свободного падения не зависит от природы падающего вещества, допускает и иное выражение. Его можно выразить так: в поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо «инерциальной» системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее»⁴. А это значит, что для физического описания процессов в природе ни одно из тел отсчета не выделено среди других. Если с точки зрения специальной теории относительности

¹ Принцип относительности. С. 183. Понятие мировой линии Минковского имеет сходство с так называемой «причинной линией» Б. Рассела, которая определяется им как «временная последовательность событий, так относящихся друг к другу, что если даны некоторые из них, то что-то может быть выведено о других, что бы ни случилось в другом месте. Причинная линия всегда может рассматриваться как постоянство чего-либо — человека, стола, фотона и вообще чего угодно» (см.: Рассел Б. Человеческое познание. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. С. 492). Для Рассела «причинная линия» есть как бы замена классического понятия «субстанции», выполнявшего в философии и науке важную роль, поскольку оно фиксировало нечто самотождественное как в природе, так и в сфере духовной. «Когда отбрасывается понятие «субстанции», — пишет Рассел, — тождество вещи или человека в различное время... объясняется как состоящее в том, что может быть названо «причинной линией» (Там же. С. 491).

² Уитроу Дж. Естественная философия времени. С. 289.

³ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 195.

⁴ Там же. С. 155.

принимались как эквивалентные тела отсчета, которые движутся относительно друг друга прямолинейно и равномерно, без вращения, а значит, с точки зрения Ньютоновой физики, без ускорения, то с точки зрения общей теории относительности эквивалентны все тела отсчета, каким бы ни было их состояние движения. Как поясняет Эйнштейн, «общий принцип относительности дает нам возможность вывести чисто теоретическим путем свойства гравитационного поля. ...Тело, движущееся относительно K прямолинейно и равномерно (в соответствии с законом Галилея), относительно ускоренно движущегося тела отсчета K' ... совершает ускоренное, вообще говоря, криволинейное движение. Это ускорение и кривизна соответствуют влиянию на движущееся тело гравитационного поля, существующего относительно K' . Такое влияние гравитационного поля на движение тел известно, так что эти рассуждения не вносят ничего принципиально нового. Однако получается новый фундаментальный результат, если провести соответствующее рассуждение применительно к световому лучу. Свет распространяется относительно галилеевского тела отсчета K по прямой линии со скоростью c . Относительно же движущегося с ускорением... тела отсчета K' путь того же светового луча... уже не будет представлять собой прямую линию. Отсюда следует заключить, что в гравитационных полях световые лучи распространяются, вообще говоря, по криволинейному пути»¹. Хотя искривление световых лучей, вытекающее из общей теории относительности (ОТО), очень незначительно для гравитационных полей, доступных нашему опыту, тем не менее для лучей, проходящих вблизи Солнца, искривление должно составлять 1,7 угловых секунды. Такое отклонение света было экспериментально установлено во время солнечного затмения 29 мая 1919 г., что под-

твердило правильность вывода Эйнштейна.

Важно отметить, что в общей теории относительности должны быть скорректированы понятия пространства и времени. «Во всяком гравитационном поле часы будут идти быстрее или медленнее в зависимости от места, где они расположены... Таким образом, разумное определение времени с помощью часов, неподвижных относительно тела отсчета, невозможно»². Аналогичные трудности возникают и при определении пространственных координат. А это свидетельствует о том, что в гравитационном поле положения геометрии Евклида не могут точно выполняться; при этом теряет свой смысл и понятие прямой. Если четырехмерный пространственно-временной континуум специальной теории относительности есть «евклидов» четырехмерный континуум (при условии, что в качестве временной переменной мы выбираем мнимую величину $U = 1 ct$ вместо вещественной величины t), то пространственно-временной континуум общей теории относительности евклидовым не является. В полях тяготения, подчеркивает Эйнштейн, «не существует твердых тел с евклидовыми свойствами; поэтому понятие твердого тела отсчета неприменимо в общей теории относительности. Гравитационные поля влияют и на ход часов, так что физическое определение времени непосредственно с помощью часов совершенно не обладает той степенью очевидности, какой оно обладает в специальной теории относительности»³. Поэтому в ОТО используются не жесткие тела отсчета, которые могут двигаться произвольно и претерпевать деформации при своем движении. Такое деформируемое тело отсчета Эйнштейн называет «моллюском отсчета», подчеркивая, что оно, по существу, равноценно любой четырехмерной гауссовой системе координат. Как видим, тяготение стало в ОТО синонимом «кривизны» прост-

¹ Эйнштейн А. Физика и реальность. С. 203.

² Там же. С. 206.

³ Там же. С. 215.

ранства-времени: искривляется световой луч и, соответственно, движения материальных частиц («мировых линий») отклоняются от равномерности и прямолинейности. Как указал Эйнштейн, ускорение и тяготение являются взаимозаменяемыми понятиями («принцип эквивалентности» Эйнштейна) в пределах области, достаточно малой для того, чтобы поле тяжести внутри нее было однородным.

Тесная связь в ОТО вещества (и энергии) с геометрией пространства-времени позволила А. Эддингтону дать следующую интерпретацию принципов ОТО: «Когда мы воспринимаем, что некоторая область содержит вещество, мы познаем присущую миру в этой области кривизну... Не следует воспринимать вещество как нечто постороннее гравитационному полю, вызывающее в нем возмущение; это возмущение и есть вещество»¹. Эддингтон отметил также, что парадоксальным образом в своей общей теории относительности Эйнштейн, по существу, восстановил в физике права эфира, которому не было места в специальной теории относительности. Мир, определенный как совокупность всех точек-моментов, писал Эддингтон, «можно было бы, пожалуй, вполне законно назвать эфиром; по крайней мере он представляет собою тот универсальный субстрат вещей, который теория относительности дает нам вместо эфира»². Как отмечает Дж. Уитроу, Эйнштейн имел и гораздо более раннего предшественника — «Рене Декарта, так как они оба ставили цель геометризации физики»³.

Близкую к этой оценке общей теории относительности дает также известный физик

Ю. С. Владимиров. Он считает, что в общей теории относительности Эйнштейн завершает тенденцию к всеобщей геометризации физики, намеченную еще в конце XIX в. в трудах В. Клиффорда. У Клиффорда, пишет Ю. С. Владимиров, провозглашена программа вывода всей физики из геометрии и «предвосхищены основные проявления закономерностей созданной значительно позже общей теории относительности»⁴. Исследуя категории теоретической физики, и прежде всего такие фундаментальные, как пространство-время, частицы и поля переносчиков взаимодействий, Ю. С. Владимиров характеризует основные теории и программы теоретической физики XX в. Что касается общей теории относительности, то ее Ю. С. Владимиров относит к геометрическому миропониманию, которое основано на объединении категорий пространства-времени и полей переносчиков взаимодействий. В геометрическом миропонимании «центральное место занимает эйнштейновская общая теория относительности, в которой категория плоского пространства-времени и категория гравитационного поля объединены в новую мета-физическую категорию четырехмерного искривленного пространства-времени. Оставшаяся категория частиц учитывается через тензор энергии-импульса в правой части уравнения Эйнштейна»⁵.

Нельзя не отметить, что исследование оснований общей теории относительности и осмысление ее содержания не закончилось с завершением ее создания самим Эйнштейном, но продолжалось в течение всего XX в. Известный физик-гравитационист Дж. Синг, выступая на международной гравитацион-

¹ Эддингтон А. Пространство, время, тяготение. Одесса, 1923. С. 189.

² Там же. С. 186. По мнению Эддингтона, теорию материи, какую мы находим в ОТО Эйнштейна, предвосхитил английский математик У. К. Клиффорд, высказавший еще в 1875 г. мысль о том, что «теория кривизны пространства намекает на возможность описания материи и движения на языке лишь протяженности» (Clifford W. K. Lectures and Essays. London, 1879. P. 245).

³ Уитроу Дж. Естественная философия времени. С. 296–297.

⁴ Владимиров Ю. С. Метафизика. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2002. С. 221.

⁵ Владимиров Ю. С. Метафизические истоки противостояния науки и религии // Два града. Диалог науки и религии. М. — Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. С. 292.

ной конференции в середине XX в., заявил: «Сколько людей занимается общей теорией относительности, столько имеется и ее пониманий»¹. Справедливости ради надо сказать, что и сам Эйнштейн вносил в ходе обсуждения некоторые коррективы в интерпретацию ОТО. Но расхождения между интерпретацией принципов ОТО самим Эйнштейном и другими физиками были порой достаточно существенными. Так, например, в статье 1919 г. «Принципиальное содержание общей теории относительности» Эйнштейн отмечал, что ОТО покоится на трех не зависящих друг от друга положениях, а именно на *принципе относительности* (утверждающем, что законы природы являются лишь высказываниями о пространственно-временных совпадениях и поэтому находят выражение в общековариантных уравнениях), *принципе эквивалентности* (предполагающем тождество инерции и тяжести) и *принципе Маха* (поле гравитации определено массами тел)². А такой крупный физик-теоретик, как В. А. Фок, по-иному интерпретировал принципы ОТО. «Истинной логической основой теории тяготения Эйнштейна, — писал он, — является не идея общей относительности и не принцип эквивалентности, а другие две идеи, именно: идея объединения пространства и времени в единое хроногеометрическое многообразие с индефинитной метрикой (эта идея была осуществлена Эйнштейном уже в его теории 1905 г. — в «частной» теории относительности) и отказ от «жесткости» метрики, позволивший связать ее с явлением тяготе-

ния, а тем самым и с весомой материей (уравнения тяготения Эйнштейна). Идеи же общей ковариантности уравнений (так называемая общая относительность) и кинематического толкования тяготения (так называемая эквивалентность) сыграли лишь эвристическую роль»³.

С точки зрения интересующей нас проблемы времени, как она решается в общей теории относительности, существенны те коррективы, которые вносит в истолкование ОТО известный физик А. Д. Александров. Он считает, что различие между частной и общей теорией относительности состоит в разных представлениях о пространстве-времени. Александров не согласен с теми, кто усматривает различие между СТО и ОТО в том, что СТО имеет дело только с инерциальными системами, тогда как ОТО допускает любые системы отсчета (в том числе и неинерциальные). Он, стало быть, не согласен и с Эйнштейном, который, как мы видели выше, подчеркивает, что ОТО обобщает принцип относительности на любые движения. Акцент именно на этом аспекте был сделан также в книге А. Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики»⁴, которую именно поэтому подвергает критике А. Д. Александров. На первый план в общей теории относительности он выдвигает не системы отсчета, а «безотносительные свойства пространства-времени»⁵, характеризует последнее как «абсолютное многообразие пространства-времени»⁶. Все неверные истолкования теории относительности, по его мнению, возникают от преувеличения роли

¹ Цит. по: Владимиров Ю. С. Метафизика. С. 236.

² См.: Эйнштейн А. Собр. науч. тр. Т. 1. С. 613.

³ Фок В. А. Об основных принципах теории тяготения Эйнштейна // Современные проблемы гравитации. Тбилиси: Изд-во Тбил. гос. ун-та, 1967. С. 5–11.

⁴ См.: Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М.-Л., 1948. С. 197. То же самое утверждал и В. Паули: «Мы должны обобщить принцип относительности следующим образом: общие законы природы должны быть выражены в такой форме, чтобы они имели одинаковый вид в любой системе координат, т. е. были бы ковариантны относительно любых преобразований координат» (Паули В. Теория относительности. М.-Л., 1947. С. 218).

⁵ Александров А. Д. Теория относительности как теория абсолютного пространства-времени // Там же. С. 286.

⁶ Там же. С. 290–291.

относительности в теории Эйнштейна¹ и от непонимания абсолютности пространственно-временного континуума. Вот как Александров определяет различие между частной и общей теорией относительности: «...Частная теория относительности, установив взаимосвязь пространства и времени в едином многообразии пространства-времени, принимает гипотезу о его однородности, что и выражается равноправностью инерциальных систем отсчета... Общая теория относительности снимает эту гипотезу; ее основное положение состоит в признании того, что пространство-время, вообще говоря, неоднородно и что его структура (метрика) определяется распределением и движением материальных масс. Эта структура определяет вместе с тем поле тяготения.. Короче, обе стороны, метрика пространства-времени и движение масс, находятся в неразрывном единстве... Поэтому общая теория относительности есть, по существу, теория тяготения. Что же касается общей относительности, то она... вообще невозможна»². Переход от однородного пространства-времени частной теории относительности к пространству-времени эйнштейновской теории тяготения, согласно Александрову, аналогичен переходу от геометрии на плоскости к геометрии на искривленной поверхности. При этом он доказывает, что теория тяготения Эйнштейна названа общей теорией относительности неправомерно: «она вовсе не есть общая теория относительности»³, ибо никакого «обобщения»

принципа относительности в ней не происходит.

В определенном отношении концепция «абсолютного пространства-времени» А. Д. Александрова перекликается с той интерпретацией ОТО, какую мы находим у немецкого математика Г. Вейля. Согласно Вейлю, четырехмерное многообразие пространства-времени ОТО есть новый вид мира-гиперпространства, в котором события не происходят, но наше сознание как бы проходит сквозь этот мир. «...Объективный мир просто *есть*, он не *случается*. Лишь для взора моего сознания, связанного с линией жизни моего тела, порождается часть мира в виде образа, плывущего в пространстве и непрерывно меняющегося во времени»⁴. Что же такое это гиперпространство, как его понимает Вейль? Это «четырёхмерный мир, в котором неразрывно связаны вместе пространство и время. Однако глубока пропасть, отделяющая интуитивную сущность пространства от интуитивной сущности времени в нашем опыте, и ничто из этого качественного различия не входит в объективный мир, который удалось выкристаллизовать физике из непосредственного опыта»⁵. С точки зрения Вейля, интуитивно переживаемые нами время и пространство являются, по существу, субъективными образами нашего сознания, которое выхватывает обособленную часть объективного четырехмерного мира-гиперпространства.

Не будет ошибкой сказать, что понятие таким образом четырехмерное простран-

¹ «...Задача, сформулированная Эйнштейном, — «построить реальную релятивистскую физику, в которой имело бы место не абсолютное, а лишь относительное движение», — не была решена общей теорией относительности, — пишет А. Д. Александров. — Движение Земли вокруг Солнца не является только относительным. Более того, легко видеть, что в общей теории относительности, если не рассматривать ее предельных случаев... всякое движение оказывается абсолютным. В самом деле, согласно этой теории, пространство-время, вообще говоря, неоднородно, а потому и разные направления движения неравноправны. Поэтому общая теория относительности скорее ликвидирует относительность всякого движения, нежели обобщает ее с инерциальных движений на любые ускоренные!». Там же. С. 288–289.

² Там же. С. 291.

³ Там же. С. 322.

⁴ Weyl H. *Philosophy of Mathematics and Natural Science*. Princeton, 1949. P. 116.

⁵ Weyl H. *Raum, Zeit, Materie*. Berlin, 1923. S. 218.

венно-временное многообразие существует объективно и в этом смысле может быть охарактеризовано как *бытие*, в отличие от непосредственно переживаемого потока времени, который есть *становление* и представляет собой не более чем субъективное восприятие бытия. В этом смысле общая теория относительности есть едва ли не более строгий детерминизм, чем классическая механика Галилея — Ньютона. И поэтому трудно не согласиться с Г. Рейхенбахом, подчеркивающим именно детерминизм общей теории относительности. «Детерминизм механики Ньютона получил еще более ясное и точное выражение в четырехмерном пространственно-временном континууме Эйнштейна — Минковского. Три измерения пространства и одно измерение времени составляют четыре оси этого континуума, а физические события представлены в виде «мировых линий», подобно линиям на диаграммах. Настоящее время является только поперечным сечением этой диаграммы. И совершенно безразлично, где мы нанесем его.

Оно является лишь точкой отсчета, подобно году, с которого мы ведем счет нашей эры. Структура пространственно-временного многообразия везде одинакова, в том числе и по отношению к обоим направлениям времени. Форма всех мировых линий в этом многообразии определяется математическими законами. Эта безвременная вселенная является четырехмерным бытием Парменида, в котором ничего не случается... Течение времени является иллюзией. Становление — также иллюзия. Это способ переживания времени человеком, однако в природе ничто не соответствует этому переживанию»¹.

Таким образом, в общей теории относительности устраняется та кажимость, которая играла существенную роль в специальной теории относительности; здесь Эйнштейн преодолевает точку зрения крайнего эмпиризма, которую он в юности воспринял у Маха, и сближается с противоположной философской позицией, действительно чем-то напоминающей «единое бытие» Парменида.

¹ Рейхенбах Г. Направление времени. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. С. 24. Казалось бы, такая интерпретация снимает вопросы об универсальном времени, объективном времени и одно-временности классической физики. Однако не все физики согласны с этим. Так, например, Манфред Штеклер, полемизируя с Г. Рейхенбахом, утверждает, что как понятие одновременности, так и объективное и универсальное время отнюдь не вышли из употребления и сохраняют свое значение некоторых независимых параметров наряду с понятием относительного времени и четырехмерного пространственно-временного континуума (См.: Stoeckler M. Ereignistransformation. Relativierungen des Zeitbegriffs in der Physik des 20. Jahrhunderts // Das Raetsel der Zeit, hrsg. von H. M. Baumgartner. Karl Alber Verlag, Freiburg-Muenchen, 1993. S. 149–177).