

Два времени в физических теориях: время метрическое и время развития¹.

Терехович В.Э.²

кандидат философских наук,

НИУ Высшая школа экономики, Санкт-Петербургский государственный
университет

Аннотация. Для преодоления трудностей в изучении понятия времени, автор предлагает анализировать философские концепции и научные теории с точки зрения двух, не сводимых друг к другу аспектов времени: времени метрического и времени развития. Показано, что разделение времени на два аспекта основано на философской традиции и помогает преодолеть противоречия между «замороженным» временем специальной теории относительности и наблюдаемыми «стрелами времени» в космологии, квантовой механике и термодинамике. Проанализирован ряд аргументов в пользу популярной философской концепции блок-вселенной, опирающейся на аппарат специальной теории относительности. Показано, что эти аргументы основаны исключительно на метрическом аспекте времени. Приведены аргументы в пользу информационной природы времени развития.

Ключевые слова: концепции времени, блок-вселенная, стрела времени, специальная теория относительности, второе начало термодинамики, квантовая нелокальность.

Способы изучения времени.

Природа времени всегда волновала человека, поскольку она напрямую связана с конечностью нашего существования. Чаще всего используется три способа изучения времени. Первый способ сводится к попыткам понять время, исходя из его определения. Приведем лишь некоторые возможные определения. Время – это то, что измеряют часы. Время – это мера продолжительности процессов и интервалов между событиями. Время – это мера последовательности событий. Время – это мера изменений объектов. Время – это мера движения объектов. Время – это существование объектов, направленное из прошлого через настоящее в будущее. Время – это ощущение продолжительности, последовательности, изменений и движений. Время – это субъективный способ синхронизации событий и т.д. Проблема в том, что определений достаточно много, и каждое будет отражать лишь одно значение времени. Непонятно, каким может быть принцип, следуя

¹ Глава в книге: «Феномен времени сквозь призму современной науки: Возможность нового понимания. Проблема времени в физике XXI века». М.: URSS, 2020. С. 161–186.

² E-mail: v.terekhovich@gmail.com

которому, одному из значений следует отдать предпочтение, и как эти определения времени можно объединить между собой.

Второй способ заключается в изучении философских концепций времени. Из них можно попытаться вывести возможные следствия, которым искать подтверждения в наблюдаемых явлениях. Научные теории, описывающие эти явления, часто приводятся в качестве аргументов в пользу той или иной философской концепции времени. Такой подход имеет два ограничения. Первое заключается в большом разнообразии философских концепций времени. Не удивительно, что выбор «любимого философа» часто определяется случайными факторами и личными философскими пристрастиями. Другое ограничение вызвано попытками прямого переноса умозаключений философов на наблюдаемые явления. Но как это часто бывает, чем глубже философское учение, тем труднее его связать с какой-либо научной теорией.

В XX веке из-за непопулярности метафизики эти два способа изучения времени были постепенно заменены подходом, свойственным науке, от анализа частных проявлений времени к гипотезам о его общих свойствах. Этот способ заключается в переносе понимания времени в какой-либо научной теории на концепцию времени вообще. А в качестве подкрепления такого обобщения достаточно найти несколько цитат известных философов. Но и здесь мы сталкиваемся с похожими ограничениями. В научных теориях понятие времени используется в различных контекстах, часто противоречащих друг другу. Кроме того, любые, даже самые успешные научные теории описывают лишь ограниченный класс явлений, и предпочтение одной из них сразу же ограничивает наше понимание времени.

Возможно, следует изменить сам подход к изучению времени и заранее признать наличие нескольких его аспектов. А чтобы такой подход был эффективным, природа этих аспектов должны быть принципиально разной, и они не должны быть сводимы один к другому. Тогда вместо сравнения достоинств и недостатков философских концепций и научных теорий, можно анализировать их с точки зрения разных аспектов времени и затем попытаться найти в них что-то общее.

Два аспекта времени.

В качестве примера двух таких аспектов рассмотрим *время метрическое* и *время развития*. На примере физики далее будет показано, что эти аспекты действительно принципиально разные, и их разделение способно снять часть противоречий между взглядами на время в различных физических теориях. Попробуем дать общую характеристику свойств, вытекающих из ситуаций, в которых используются эти два аспекта.

Метрическое время в первую очередь используется для синхронизации наблюдаемых событий, определения порядка их следования и измерения интервалов между ними. Метрическое время обычно привязывается к внешним

эталонам периодических процессов, доступным для наблюдения большинству людей. Основная задача этого аспекта времени заключается в сравнении различных длительностей между собой. Поэтому этот аспект можно считать количественным, внешним и относительным. К нему можно отнести: время, измеряемое по часам или вращению планет, а более широко, время классической и релятивистской физики.

Время развития используется как мера изменчивости (становления) объектов или как мера последовательности качественных стадий в существовании одного и того же объекта. Время развития может измеряться сложностью, неопределенностью, вероятностью, устойчивостью, упорядоченностью, информацией, знанием и т.д. Этот аспект времени не зависит от положения объекта в пространстве относительно других объектов. Поэтому он качественный, внутренний и абсолютный. То, что для удобства его измерения могут дополнительно использоваться внешние эталоны метрического времени, не меняет его свойств. К этому аспекту можно отнести: время, используемое в статистической и квантовой физике, космологии, геологии, биологии, психологии, социальных науках.

В истории философии можно найти немало примеров подобного разделения понятия времени. Один из аспектов обычно считался более фундаментальным, его часто связывали с изменениями и называли «длительностью». Второй связывали с восприятиями человека или измерениями, в том числе с измерениями движения тел в пространстве. В большинстве случаев основное отличие философских концепций времени заключалось именно во взглядах на природу «длительности».

Аристотель утверждал, что время есть число движения в отношении к предыдущему и последующему (Физика, IV, 11, 219b), однако под движением он понимал любое изменение вещей: в отношении сущности – возникновение и уничтожение; в отношении количества – рост и уменьшение; в отношении качества – качественное изменение; в отношении места – перемещение (Физика, III, 1, 200b-201a). С другой стороны, по мнению Аристотеля, число невозможно без души, ибо ничто не способно считать, кроме разума души. И хотя душа не создает время, однако измерение составляет неотъемлемую часть понятия времени (Физика, IV, 14, 223a).

Р. Декарт разделял длительность и время. Длительность совпадает с существованием вещи и есть атрибут субстанции, время же дано только в нашем мышлении и «есть лишь известный способ, каким мы эту длительность мыслим» [2, с. 451].

Именно длительность И. Ньютон считал абсолютным истинным математическим временем, неизменным фоном, являющимся атрибутом Бога. А время движения – только относительное или кажущееся как «постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как то: час, день, месяц, год» [6, с. 30]. Таких

относительных движений может быть сколь угодно много, в зависимости от того, какое из окружающих тел принять за точку отсчёта.

Г. Лейбниц, как и Р. Декарт, называл длительность атрибутом не Бога, а отдельных субстанций-монад. А время – это лишь способ измерения длительности. Время относительно как порядок последовательностей или закон изменений на множестве состояний. Мгновения в отрыве от вещей ничто и они имеют свое существование только в последовательном порядке самих вещей, и этот порядок остается неизменным. «Всякая вещь имеет свою собственную длительность, но она не имеет своего собственного времени» [4, с. 341].

А. Бергсон отличал время искусственное, измеряемое в физике, и время подлинное, как проявление творческого мирового процесса. Но длительность для него не является сменяющими друг друга моментами, а есть взаимопроникновение состояний сознания, которые непротяжёны и поэтому не могут быть расположены рядом друг с другом. Эти состояния различаются не количественно, а качественно и потому не поддаются измерению и исчислению как материальные объекты [1].

М. Хайдеггер был уверен, что именно во времени укоренена центральная проблематика всей онтологии. Выяснение онтологического фундамента измерения времени в теории относительности, по его мнению, заранее предполагает раскрытие природы временного смысла измерения вообще, а значит, аксиоматика техники физических измерений неспособна развернуть проблему времени как таковую [13, с. 417-418].

В литературе можно встретить две парные классификации философских взглядов на природу времени: субстанциональная–реляционная и динамическая–статическая [5]. Однако, в XX веке из-за непопулярности понятия «субстанция» и метафизики вообще философские дискуссии о природе времени сконцентрировались на второй классификации, а точнее на вопросе: отражает ли время реальные изменения в природе или время – это психологическая иллюзия, а реальный мир не меняется? Современным примером является заочная дискуссия Дж. Барбура [15] и Л. Смолина [11].

После появления специальной теории относительности (СТО) одного термина «реляционное» для описания времени уже недостаточно, следует различать реляционные и релятивистские свойства времени. Первые могут определяться как отношениями между событиями, обладающими реальной длительностью, как у Г. Лейбница, так и относительными восприятиями сознания. Вторые определяются наблюдателями, связанными с инерциальными системами отсчета, и характеризуют относительные движения объектов в пространстве Минковского СТО.

Обычно рассматривают две крайних точки зрения. В концепции *презентизма*, объекты существуют только в настоящем времени, прошлого уже нет, а будущего еще нет, с каждым мгновением объект становится другим. Эта концепция большей частью связана со временем развития и реляционными свойствами времени.

Сторонники этернализма все прошлые, настоящие и будущие события рассматривают как равно существующие. Временные отношения сводятся к «раньше-позже» и определяются причинно-следственными связями. Направленное становление объявляется субъективным феноменом: ничто не возникает и не исчезает, только наше сознание встречается с различными событиями и фиксирует их как моменты настоящего. Эта концепция абсолютизирует метрический аспект времени и его релятивистские свойства.

А. Эйнштейн и блок-вселенная.

В 1908 году философ Дж. Мак-Тагgart [20], попытался показать, что не существует логических и метафизических оснований для предпочтения презентизму или этернализму (он использовал термины соответственно А-серии и В-серии). Однако в философский спор вмешался А. Эйнштейн, причем так, что современную метафизическую концепцию времени невозможно анализировать без реконструкции метафизических оснований СТО, заложенных в нее Эйнштейном. Вдохновленный успехом СТО и общей теории относительности (ОТО), он заявлял: «Для нас, убежденных физиков, различие между прошлым, настоящим и будущим – не более чем иллюзия, хотя и весьма навязчивая» [17, р. 537–538]. А вот как К. Поппер вспоминал о беседе с Эйнштейном: «Я пытался убедить его отказаться от детерминизма, состоявшего во мнении о том, что мир был четырехмерной парменидовской блок-вселенной, в которой изменение было человеческой иллюзией, или почти так. (Он согласился с тем, что это был его взгляд, и при обсуждении его я назвал его «Парменид».)» [9].

Действительно, СТО, казалось бы, подтверждает, что различие прошлого, настоящего и будущего сводится лишь к отношениям движущихся объектов. Следовательно, эти три времени относительны и имеют равную степень реальности. Благодаря авторитету Эйнштейна и тому, что следствия СТО прекрасно согласуются с экспериментами, большинство физиков, являясь, как и Эйнштейн, научными реалистами, приняли его метафизическую картину блок-вселенной. Временное измерение в ней аналогично пространственным, а это значит, что объекты имеют не только пространственные, но и временные части. Блок-вселенная предполагает, что объекты не существуют, а события не происходят в отдельные моменты времени, существуют лишь мировые линии этих объектов в 4-х мерном пространстве-времени. Мы сами в своем сознании проводим границу между прошлым и будущим. Как выразился известный физик Б. Девитт, время – это только феноменологическое понятие, удобное при определенных обстоятельствах [16].

Интересно, что многие философи стали использовали СТО как аргумент в пользу этернализма. Г. Рейхенбах настаивал, что исследование природы времени без изучения физики – безнадежное предприятие. И если имеется решение философской проблемы времени, то оно зафиксировано в уравнениях математической физики [10, с. 32-33]. Х. Патнэм высказался еще категоричнее:

«Проблема реальности и предопределенности будущих событий решена. Кроме того, она решена в физике, а не в философии... . Не думаю, что в философии еще существует проблема времени. Существуют лишь физические проблемы определения точной физической геометрии четырехмерного континуума, который мы населяем» [22].

Известно, что в период создания СТО Эйнштейн воспользовался реляционной концепцией Э. Маха, в которой пространство и время отражают лишь отношения между физическими событиями. Мах различал исходное физиологическое время и время физическое. Созерцание времени и пространства, по Маху, обусловлено нашей телесной организацией, настоящее – не момент времени, а отрезок, достаточный для восприятия изменений, протекающих в душе. Физическое время получается из временного сравнения физических процессов друг с другом.

Эйнштейн развил эту идею: «Все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях. ... Не следует придавать абсолютного значения понятию одновременности» [14]. Однако, в отличие от Маха, Эйнштейн верил в неизменные законы природы, которые физика познает, а не создает для удобства описания явлений. И если существуют неизменные законы, значит, должна быть некая область бытия, не подвластная времени. И Эйнштейн скоро нашел ее.

Метафизика Ньютона недолго была «отвергнутой». Г. Минковский в 1907 г. предложил геометрическое представление СТО. Он заметил, что инвариантные интервалы удобно изображать в виде светового конуса в 4-мерном плоском псевдоевклидовом пространстве, где время является четвертой координатой наравне с пространственными. Но главное, Минковский представлял новое пространство-время первичной физической реальностью. В процессе разработки ОТО Эйнштейн постепенно принял метафизическую идею Минковского о 4-х мерном пространстве-времени как метрическом поле, которое может существовать и без материи-энергии.

Так пространство-время в СТО, а позже и в ОТО стало таким же абсолютным, какими были пространство и время для Ньютона, изменилась лишь их топология. Не случайно Эйнштейн предпочитал называть СТО не теорией относительности, а теорией инвариантности. Далее будет показано, что СТО и ОТО полностью сосредоточились на метрическом аспекте времени (в терминологии Маха, физическом времени), игнорируя другой аспект – время развития.

Относительность одновременности в СТО.

Основной аргумент в пользу блок-вселенной основан на относительности одновременности в СТО. Однако этот аргумент не может считаться обоснованным по некоторым причинам. Рассмотрим некоторые из них.

В пространстве Минковского к каждому объекту, взятому за систему отсчета можно построить верхний и нижний световые конуса, внутри которых все другие объекты движутся от события к событию вдоль своих мировых линий.

Четырехмерный интервал между любыми двумя событиями оказывается инвариантным, то есть не зависящим от скорости движения. При этом одновременность двух событий для разных объектов измеряется координатой времени, которая, в свою очередь, зависит от скорости движения объекта относительно системы отсчета. Это значит, что одновременность относительна.

Важно помнить, что в СТО используют два времени с различным физическим смыслом: координатное и собственное. Координатным называется время, связанное с той или иной системой отсчета. Оно относится обязательно к двум различным объектам, и именно оно относительно. Для определения одновременности использует именно координатное время. Время, же отсчитываемое по часам, движущимся вместе с объектом, называется собственным. Это время «действует» внутри каждого объекта и является для него абсолютным, поскольку темп внутренних процессов или скорость «старения» объекта не зависит от внешних систем отсчета. В отличие от координатного, собственное время для самого объекта есть инвариант, как в СТО, так и в ОТО. Например, согласно принципу максимального собственного времени, действительная траектория свободной частицы отличается от всех возможных траекторий тем, что собственное время частицы максимально, при этом длина мировой линии минимальна. Конечно, с точки зрения других движущихся систем отсчета, темп внутренних процессов объекта будет казаться разным, в зависимости от скорости движения. Но в этом случае измеряется уже не собственное, а координатное время.

Внутри световых конусов каждой системы отсчета можно построить множество кривых поверхностей так, что все события на этих поверхностях будут равноудалены от начала координат и иметь равное собственное время. Если из события, где находится конкретный наблюдатель, к поверхности равного времени провести касательную плоскость, то образуется некое «одновременное пространство», все события в котором происходят как бы «в данный момент» для этого наблюдателя. Как известно, в СТО «существовать одновременно» означает иметь синхронизированные часы.

Следуя схеме известного мысленного эксперимента Rietdijk-Putnam (позже Р. Пенроуз сформулировал его в виде парадокса Андромеды [7, с. 168, 248]), можно представить, что на Земле в одной точке встретились три наблюдателя: один неподвижный, второй, двигающийся в сторону галактики Андромеды, и третий, двигающийся от Андромеды. Согласно СТО для этих трех наблюдателей реально существуют сразу три разных события в галактике Андромеды, и у каждого из этих событий разное координатное время. Отсюда обычно делается вывод, что все события на мировой линии Андромеды относительны к скоростям движения наблюдателей и входят в общую реальность, объединяющую ее прошлое, настоящее и будущее. Существует как бы «блок пространства-времени», в котором четвертое измерение времени имеет такой же онтологический статус, как и три пространственных.

Проблемы геометрической одновременности.

Покажем, что аргумент Rietdijk-Putnam скрывает в себе несколько проблем. Первая проблема связана с подменой понятий. Путается время, когда наблюдатели на Земле действительно получат сигнал о событии в галактике Андромеды, и координатное время этого события, рассчитанное через скорость света и скорость наблюдателя. Когда говорят, что в «одновременном пространстве» наблюдателя на Земле существует «прошлое» или «будущее» Андромеды имеют в виду расчетную «одновременность». Но наблюдатель не может ни узнать об этом «прошлом» или «будущем», ни повлиять на него. Когда свет из расчетного «прошлого» или «будущего» Андромеды дойдет до наблюдателя на Земле, у него будет уже новое «настоящее», которому будет «одновременно» новое координатное «прошлое» или «будущее» Андромеды. Кроме того, все трое наблюдателей на Земле всегда будут наблюдать сигналы из «прошлого» Андромеды, хотя оно и будет иметь для них разное координатное время.

Вторая проблема заключена в том, что в аргументе Rietdijk-Putnam используется логика, заимствованная, как не странно, из презентизма и классической физики. Именно там из аксиом об абсолютности пространства следует, что находиться в одном месте пространства означает существовать в этом месте, а из абсолютности времени следует, что одновременность подразумевает существование в одном времени. Это же подсказывает и наш здравый смысл: если я сейчас существую, то все, что происходит одновременно с моим «сейчас», тоже существует. Если ненаблюданное событие происходит в одно и то же время с наблюдаемым событием, то оно так же реально. Приложив ту же логику к «одновременным пространствам» СТО, делается вывод, что все события в таких пространствах существуют в равной степени. При этом забывают, что подобное заключение возможно только при условии принятия метафизической гипотезы Минковского и Эйнштейна о том, что 4-х мерное пространство-время является первичной сущностью.

Именно такая установка соответствовала критерию реальности Эйнштейна, использованная при формулировке ЭПР-парадокса: если мы можем, без какого бы то ни было возмущения системы, предсказать с достоверностью значение некоторой физической величины, то существует элемент физической реальности, соответствующий этой физической величине. Следуя логике Эйнштейна, если мы можем точно рассчитать координаты события в «одновременном» с нами пространстве, то это событие физически существует, даже если мы не можем получить информацию об этом событии в момент, когда оно происходит.

Если же рассматривать «одновременные пространства» только как геометрические построения и не придавать им онтологического статуса, то из относительности одновременности нельзя вывести никаких утверждений ни о существовании, ни о природе времени. На эту ошибку обращал внимание В.А. Фок: «Относительность понятий одновременности и длины часто дает повод к ложным

толкованиям теории относительности... А. Эйнштейн, а за ним и другие авторы при изложении относящихся сюда следствий говорят о восприятии неких воображаемых наблюдателей, или, в лучшем случае, о результатах произведенных этими наблюдателями измерений. Тем самым ощущения или измерения наблюдателей как бы принимаются за первичное. Между тем здесь речь идет об объективных отношениях материальных тел между собой и об объективных свойствах пространства и времени» [12, с. 18].

Третья проблема заключается в том, что для определения одновременности в СТО использует координатное время, соответствующее метрическому аспекту времени. Но, как мы помним, есть еще собственное время, в каком-то смысле аналог времени развития или длительности. Похоже, для Минковского и Эйнштейна длительность и собственное время было лишь предельным случаем координатного времени, несмотря на то, что собственное время инвариантно к скорости. Более того, для измерения длительности понятие одновременности вообще не обязательно. Конечно, для сравнения внутренних изменений разных систем удобно использовать одновременность относительно общего метрического времени (оборотов Земли, колебаний э/м волн и т.п.). Но если у объекта или у системы, к которой он принадлежит и относительно которой не движется, есть собственные постоянные периодические процессы, их можно использовать как внутренние часы для измерения собственного времени. И эти часы будут независимы от скорости движения. Таким образом, «геометрическое равноправие» разных координатных времен Андромеды с точки зрения разных внешних наблюдателей никак не связано с ходом ее внутреннего времени.

Четвертая проблема аргумента Rietdijk-Putnam в том, что принцип относительности СТО действителен только для инерциальных систем отсчета (движущихся без ускорения). В ОТО, где ускорение эквивалентно искривлению пространства-времени, «одновременные пространства» трансформируются в некие искривленные «пространственно-подобные поверхности». А поскольку световой конус пространства Минковского для наблюдателей на Земле всегда локален, то и говорить о каких-то «одновременных пространствах», достигающих Андромеды, в принципе не имеет смысла. Во-первых, мы не можем знать заранее распределения масс и энергий на таких расстояниях. Во-вторых, в окрестностях «черных дыр» ткань пространства-времени настолько деформируется, что световые конусы событий становятся недоступными для сторонних наблюдателей, поскольку находятся за «горизонтом событий».

Пятая проблема связана с космологией. Считается, что по мере расширения Вселенной галактики разбегаются в разные стороны с гигантским разнообразием скоростей из-за различия расстояний между ними. Согласно СТО, их часы должны идти по-разному. Но, в отличие от относительного движения СТО, основное движение галактик относительно друг друга происходит не в пространстве, а в результате расширения этого пространства со скоростью, превышающей скорость света. Именно это расширение обеспечивает синхронизацию «внутренних часов»

галактик, которые фиксируют равное время от Большого Взрыва. Благодаря расширению Вселенной, мы видим излучение от объектов на расстоянии 46,5 млрд. световых лет, хотя возраст Вселенной всего 13,8 млрд. лет. Для объектов вне наблюдаемой части Вселенной понятие «сейчас» с точки зрения СТО вообще бессмысленно, поскольку свет от них никогда не сможет нас достигнуть. Значит ли это, что их не существует? Можно говорить о некой выделенной шкале времени расширения Вселенной, космологические часы которой синхронизируют «одновременность» всех событий, независимо от относительной скорости систем отсчета и независимо от скорости света. Но тогда эти космологические часы измеряют не метрическое время относительного движения тел, а внутреннее время развития Вселенной как единого целого.

С учетом перечисленных проблем можно заключить, что понятие относительности одновременности, используемое в СТО, отражает только метрический аспект времени и является скорее операциональным, а значит, не может считаться аргументом в пользу равной реальности прошлого, настоящего и будущего в картине блок-вселенной.

Обратимость времени в уравнениях классической физики.

Еще один распространенный аргумент в пользу блок-вселенной звучит так: поскольку в дифференциальных уравнениях большинства физических теорий знак временной переменной не меняет формы уравнений, то направление времени в природе не имеет фундаментального значения. Против этого аргумента можно привести, минимум три возражения.

Во-первых, этот аргумент опирается на концепцию научного реализма, согласно которому объекты, постулируемые зрелыми научными теориями, реально существуют, а сами эти теории отражают реальные отношения в природе. Вокруг этой концепции ведется обширная философская дискуссия, которая далека от разрешения.

Во-вторых, научная теория включает в себя не только уравнения, но, в первую очередь, теоретическую модель, куда входят понятия, аксиомы, логика, описание причинности, граничные условия и словесные формулировки законов. Именно в этих формулировках направленность явлений часто скрыта в выражениях типа: «тело стремится к...», «направление потока», «от...», «к...», «процесс происходит в направлении...», «величина увеличивается (уменьшается)». Направления скрыты и в некоторых математических терминах, например, «вектор», «градиент», «ротор», «набла», «тензор» и т. п. Указание на направление движение или процесса, по сути, является дополнительным ограничением теории. И хотя формально замена знака времени не меняет формы уравнений, но если изменение направления процессов противоречит наблюдениям, такие процессы просто исключаются из теории, как нефизические. Например, так поступают с опережающими волнами, возникающими как одно из решений уравнений Максвелла.

В-третьих, дополнительные словесные ограничения часто вводятся в теорию

путем указания на причинно-следственные связи. А как известно, любые уравнения в форме равенства левой и правой части не содержат понятия причинности, ведь равенство означает эквивалентность этих частей. Например, уравнения СТО обратимы во времени, и световые конуса прошлого и будущего формально можно поменять местами. Но мы знаем, что это не соответствует наблюдениям, поэтому вводится ограничение в виде некого принципа причинности, согласно которому «причина всегда должна предшествовать следствию». Получается, что даже если обратимость уравнений теории не запрещает обратные во времени процессы, то теоретическая модель, включающая определение причин и следствий, не предполагает их реального существования.

Итак, нет никаких логических оснований из формы уравнений выводить какие-либо онтологические обобщения о природе времени. В качестве гипотезы можно предположить, что все уравнения, инвариантные к знаку времени, включают в себя только метрическое время. Соответственно, уравнения, описывающие необратимые процессы во времени развития, должны как-то отличаться по своей форме.

Обратимость времени в уравнениях квантовой физики.

Основное уравнение квантовой механики – волновое уравнение Шредингера – тоже выглядит как детерминистическое и обратимое во времени. Отсюда часто делается вывод, что и на квантовом уровне время не имеет фундаментального значения. Однако уравнение Шредингера – это не уравнение движения, и из его обратимости непосредственно не вытекает обратимость движений. Это уравнение отражает лишь изменение амплитуды вероятностей всех возможных состояний квантовой системы с точки зрения времени классических измерений. Время в уравнении Шредингера является внешним фоном, который вносится в квантовые явления, но никак не выводится из них. Уравнения Клейна-Гордона и Дирака используют релятивистское время, но оно тоже относится к макрообъектам. В квантовой электродинамике вместо изучения эволюции в 4-мерном пространстве-времени рассчитывается сумма амплитуд вероятностей всех возможных переходов частиц (в том числе пространноподобных) между двумя актами взаимодействия или из одной точки пространства-времени в другую.

Важнее то, что в квантовой теории будущее имеет принципиально неопределенный характер. Если классическая статистическая вероятность несет информацию о частоте прошлых актуальных событий в серии опытов, то квантовая вероятность дает информацию о предрасположенности каждого из возможных событий стать актуальным в будущих опытах. Относительно конкретного результата измерения прошлое также неопределенно, так как к измерению привела эволюция квантового состояния, как суперпозиции, состоящей из нескольких возможных состояний. Прошлое, которое явилось причиной настоящего, вовсе не «заморожено», а скорее «размазано» в квантовой неопределенности. Это значит, что однозначные состояния в прошлом – это

никакие не причины последующих состояний, а такие же результаты перехода квантовой суперпозиции в классические состояния. Прошлое конкретного объекта – это лишь сумма его возможностей, а не уникальная мировая линия. Таким образом, неопределенность будущего и прошлого противоречит фиксированному времени блок-вселенной.

Чтобы объяснить направленность времени, сторонники Копенгагенской и некоторых других интерпретаций квантовой механики ссылаются на необратимость «коллапса» волновой функции. Предполагается, что волновая функция, которая детерминировано развивалась по уравнению Шредингера, в момент измерения мгновенно «проецируется» на одно из возможных показаний прибора с вероятностью, пропорциональной квадрату амплитуды вероятности соответствующего члена суперпозиции. Об этом писал Л. Д. Ландау: «Основные уравнения квантовой механики сами по себе обладают симметрией по отношению к изменению знака времени; в этом отношении квантовая механика не отличается от классической. Необратимость же процесса измерения вносит в квантовые явления физическую неэквивалентность обоих направлений времени, т. е. приводит к появлению различия между будущим и прошедшим» [3, с. 41].

Однако эвристическая ценность «коллапса» волновой функции сомнительна. Он не происходит ни во времени, ни в пространстве, а значит, не может описывать метрическое время. Кроме того, «коллапс» волновой функции не всегда гарантирует необратимость процесса. Теоретически из смешанного состояния можно воссоздать суперпозицию, и это предсказание квантовой теории подтверждают эксперименты с «квантовым ластиком». Но главное, «коллапс» волновой функции в копенгагенской версии является не реальным процессом, а неким математическим трюком без физического содержания.

Большинство современных интерпретаций квантовой механики вместо «коллапса» и редукционного постулата используют механизм декогеренции – процесс нарушения согласованности внутри квантовой суперпозиции, вызываемый взаимодействием с окружающей средой, в том числе в результате измерений. Квантовая суперпозиция распадается, одновременно система запутывается с состояниями огромного числа объектов окружающей среды. Запутанность означает, что из системы в среду передается информация, и квантовое состояние каждой частицы может быть описано только относительно других запутанных частиц. Суперпозиция переходит в смешанное состояние, квантовые объекты переходят в классические.

Д. Пейдж и У. Уоттерс [25] разработали гипотезу о том, что время является возникающим явлением, вызванным подобной запутанностью, когда различные квантовые частицы разделяют совместное существование, хотя физически остаются разделенными. Ряд физиков (Дж. Уилер, В. Цурек, А. Цайлингер) считают, что именно распространение информации играет ключевую роль в возникновении классических состояний. С. Ллойд полагает, что на квантовом уровне направленность времени создается направленностью распространения квантовой

информации. Квантовые частицы стремятся все больше запутаться с окружающей средой до тех пор, пока вся информация в окружающей среде выровняется: стрела времени — это стрела роста корреляций [24]. Очевидно, что и «коллапс» волновой функции, и декогеренция относится к внутреннему времени развития.

Квантовая нелокальность во времени.

Еще одна трудность для блок-вселенной связана с тем, что на квантовом уровне принципиально меняется понятие «одновременность». В СТО «существовать одновременно» в координатном времени означает иметь часы, синхронизированные посредством световых сигналов. Постулируется, что в 4-х мерном пространстве-времени никакое взаимодействие и передача сигнала невозможны быстрее определенного предела, равного скорости света. Но квантовая механика предсказывает, и эксперименты это подтверждают, что для квантовых объектов в перепутанных состояниях существует нелокальная корреляция, не ограниченная скоростью света. Это значит, что скоррелированные состояния могут быть разделены пространственноподобным интервалом. Привычная разница между причиной и следствием оказывается неопределенной.

Чтобы примирить квантовую теорию с СТО, считается, что квантовые нелокальные корреляции не переносят ни энергию, ни информацию. И действительно, эксперименты подтверждают, что классические объекты (люди или приборы) не могут получить информацию быстрее, чем со скоростью света. Но тут есть проблема. Если предел скорости — это аксиома СТО для локального пространства Минковского, то почему передача информации в комплексном многомерном пространстве возможных состояний должна подчиняться этой аксиоме? Разве тот факт, что мы и наши макроприборы не можем получать информацию быстрее скорости света, автоматически означает, что это невозможно для всех объектов во Вселенной? По формальному определению «передача информации» — это статистическая корреляция между случайным выбором отправителем информации одной из возможных переменных и наблюдением другой переменной получателем информации. Если такая корреляция в локальном 4-х мерном пространстве-времени имеет свой предел, то почему корреляции между квантовыми состояниями должны подчиняться тому же пределу. Что если предел скорости света для передачи информации применим только к макрообъектам?

Иногда можно встретить другой способ объяснить мгновенную квантовую корреляцию. Запутанные квантовые объекты предлагается рассматривать как один и тот же объект, но разнесенный в пространстве-времени. Подобное объяснение использует понятие когерентности из неравновесной термодинамики и философский принцип холизма, но никак не решает проблему на физическом уровне. Скорее это похоже на одну из *ad hoc* гипотез, защищающих парадигму классического поля с его аксиомой локальности.

Часть физиков считает, что эксперименты по проверке неравенств Белла [21] и неравенств Леггетта-Гарга [23] подтвердили предсказание квантовой механики о

существовании квантовой нелокальности не только в пространстве, но и во времени. Это же подтверждают эксперименты, объединяющие механизм «квантового ластика» и отложенного выбора, в которых можно сначала зарегистрировать фотон, а уже потом, используя второй запутанный с ним фотон, решать, как первый фотон должен быть зарегистрирован [19]. Причем физическая локальная связь между испусканием фотонов, выбором наблюдателя и регистрацией исключалась.

Объяснение последнего эксперимента зависит от того, какой философской концепции времени придерживается объясняющий. Для сторонника презентизма измерение в прошлом рассматривается как что-то случившееся, уже не существующее, но оставшееся в виде записанной информации. Для сторонника блок-вселенной измерение в прошлом «застыло» в своем существовании. Для обоих прошлое событие неизменно. Результат эксперимента они могут описать так: уже после регистрации фотона, выбирая тип детектора, наблюдатель может заставить фотон в прошлом проявиться как частица или как волна. Но это противоречит СТО и принципу причинности, а значит, есть ошибка или в эксперименте, или в его объяснении.

Однако если выйти из жестких рамок дилеммы презентизма или блок-вселенная, и измерение в прошлом рассматривать не как что-то неизменное, а как связанное с измерениями в будущем, то парадокса можно избежать. Например, ряд авторов [18] предлагают расширить утверждение Дж.Уилера о том, что явление не является явлением, пока оно не зарегистрировано: явление не имеет смысла, пока оно не будет соотнесено с другими зарегистрированными явлениями, в том числе будущими. Что если при оценке эксперимента мы должны учитывать всю конфигурацию эксперимента в разные моменты времени. Вовсе не обязательно рассматривать последовательность измерений как физические взаимодействия или сигналы, которые остаются в прошлом. В прошлом остается только факт регистрации прибором одиночных фотонов, но не результат всего эксперимента, который показывает, есть интерференция или нет. Ни мы, ни макроприбор не меняем классическое прошлое, между макрообъектами нет классического взаимодействия (СТО не нарушена). Мы изменяем лишь «след» неопределенного прошлого в настоящем. Можно сказать, что получаемая позже дополнительная информация изменяет наше представление о результатах эксперимента в прошлом. Получая новую информацию в настоящем, наблюдатель или система заново создают прошлое. В свою очередь, прошлое как бы нелокально связано со своими возможными следствиями.

Если мы всерьез воспринимаем квантовые нелокальные корреляции, то и их следует связывать не с релятивистским метрическим временем, а с реляционным временем развития. Причем свойства последнего будут определяться обменом информацией между перепутанными состояниями.

Тепловая гипотеза времени.

Говоря об обратимости уравнений физических теорий, в том числе СТО, мы отметили, что для совпадения предсказаний теории с наблюдением необходимо накладывать дополнительное внешнее по отношению к теории граничное условие, указывающее направление движение или процесса. Наиболее распространенное среди физиков ограничение связано со вторым началом термодинамики. «Тепловая гипотеза времени» постулирует, что физический времененной поток не является априорно заданным фундаментальным свойством теории, а является макроскопической особенностью термодинамического происхождения. Известна цитата А. Эйнштейна: «Если в некоторой точке рассмотреть два противоположных времениподобных направления, то можно, пожалуй, говорить, что одно из них устремлено в будущее, а другое – в прошлое. Но законы поля не отдают ни одному из этих двух направлений никакого предпочтения. Ситуация сходна с той, которая имеет место в классической теории с положительным и отрицательным направлениями времени. Такое различие имеет смысл только из-за второго закона термодинамики и основано, таким образом, не на форме элементарных законов, а только на граничных условиях» [8, с. 50].

Второе начало термодинамики в самой простой форме гласит, что энтропия изолированной системы либо возрастает, либо остается постоянной. То же самое можно сказать иначе: физические системы имеют тенденцию развиваться по направлению к состояниям с более высокой энтропией. Такое выделенное направление процессов называют «термодинамической стрелой времени».

Существует несколько интерпретаций смысла энтропии: мера необратимости термодинамического процесса, мера разнообразия, мера порядка, мера вероятности, мера неопределенности информационного сообщения. В статистической физике энтропия пропорциональна количеству способов, которыми может быть реализовано данное макроскопическое состояние физической системы. Но при росте числа таких способов, растет не только энтропия, но и вероятность возникновения данного макроскопического состояния. Тогда второе начало можно переформулировать в более общем виде и без использования понятия энтропии: физические системы имеют тенденцию или предрасположенность развиваться по направлению к состояниям, имеющим более высокую вероятность. Или так: чем больше независимых возможных путей ведут к какому-то состоянию, тем выше вероятность, что это состояние будет достигнуто. С одной стороны, такое утверждение может показаться тривиальным и совсем не похожим на закон физики. С другой стороны, оно порождает трудности для тепловой гипотезы времени.

Первая трудность вызвана неопределенностью понятий «тенденция», «возможные пути» и «вероятность». Что это, инструментальные понятия или они величины, имеющие физическое содержание? На чем основано их введение, кроме как на нашем опыте? Или второе начало – всего лишь феноменологический закон? Но может ли «стрела времени» Вселенной иметь такое неопределенное основание?

Вторая трудность связана с начальными условиями. Если энтропия только возрастает, то, как возникли объекты, обладающие низкой энтропией? Рост энтропии является статистически вероятным, и с малой вероятностью допускается ее снижение в отдельных областях. Тогда, возможно, низкая энтропия – случайная флуктуация в начале эволюции Вселенной или в одной из ее областей. В этом случае «тепловых стрел времени» должно быть много, для разных областей и периодов истории Вселенной, причем направлены они могут быть в разные стороны. А там, где энтропия не растет и не уменьшается, тепловое время вообще будет отсутствовать. Но как все это совместить с космологической стрелой времени расширения Вселенной?

Другое возможное объяснение состоит в том, что начальные условия при возникновении Вселенной задает гравитация. С учётом тяготения однородное распределение вещества, возникшее благодаря инфляции, уже не является наиболее вероятным и не соответствует максимуму энтропии. Но тогда необходимо объяснить, какова природа самой гравитации, как и когда она возникла.

Третья трудность определяется тем, что закон роста энтропии однозначно применим только к замкнутым системам. Если бы Вселенная была стационарной замкнутой системой, то рост энтропии Вселенной как единой системы был бы вполне определен и мог быть принят за «космологические часы». Но в открытых системах за счет обмена энергией и энтропией с окружающей средой общая энтропия системы может уменьшаться. Во многих современных космологических теориях Вселенная представляется открытой системой, возникшей в результате квантовой флуктуации физического вакуума на фоне гравитации. В процессе расширения Вселенная, возможно, продолжает получать энергию вакуума и отдавать произведенную энтропию в форме информации вновь образующимся «черным дырам».

И снова получается, что для понимания природы теплового времени ключевую роль играет гравитация, «черные дыры» и квантовый вакуум. А это значит, что без приемлемой теории, объясняющей возникновение гравитации на квантовом уровне, а также возникновение и расширение пространства-времени, мы не можем использовать тепловое время Вселенной как внешнее время для движения массивных объектов (СТО и ОТО) и квантовых систем. Во-первых, мы получаем круг в объяснении. Во-вторых, энтропия есть функция внутреннего состояния системы, ее потоки внутри системы или при обмене с другими системами отражают внутренние изменения – время развития. Следовательно, энтропия не может быть основой для фонового метрического времени относительного движения тел.

Есть еще одно возражение философского характера. Если «стрела времени» зависит от направления роста энтропии, то при изменении этого направления, меняется ли направление причинно-следственных связей? Ведь если основной признак причины состоит в том, что она «раньше следствия во времени», а

направление времени определяются только потоком энтропии, тогда причины и следствия должны меняться местами. Причем этот обмен должен иметь статистический характер.

Обобщая, можно сделать заключение, что второго начала термодинамики недостаточно для понимания природы времени в масштабе Вселенной.

Заключение.

Подведем итоги. Метрическое время удобно для измерения и участвует в уравнениях физических теорий. Но этого явно недостаточно для понимания феномена времени. Наиболее перспективной автору представляется уже упомянутая информационная интерпретация времени развития, основанная на механизме декогеренции и распространения квантовой информации. Необратимость возникает тогда, когда информацию, распространившуюся в среде благодаря декогеренции, уже невозможно в этой среде «стереть» или «затолкать» обратно в квантовую суперпозицию. Согласно теории квантового дарвинизма, любая информация стремится распространиться и, возможно, даже борется за распространение с другой информацией [26].

Скорость собственного времени развития системы может определяться интенсивностью распространения информации в ее окружение. Роль наблюдателя в этом случае не является ключевой, поскольку каждое запутывание с окружением можно считать «актом наблюдения», создающим изменения в системе и тем самым участвующим в процессе развития этой системы.

С одной стороны, тему времени невозможно рассматривать вне связи с физикой. С другой стороны, каждая физическая теория пытается «навязать» свое понимание времени, хорошо работающее в рамках именно этой теории. История физики неоднократно показывала, что некритический перенос метафизических принципов на физические явления ведет к трудностям в физических теориях. Но верно и обратное, некритическое обобщение даже самой успешной физической теории до метафизической концепции рано или поздно ведет к метафизическим противоречиям. Чтобы избежать необоснованного сужения смысла понятия время, следует каждую философскую концепцию и каждую научную теорию анализировать с точки зрения двух аспектов времени, обладающих принципиально разными смыслами: времени метрического и времени развития.

Литература

1. Бергсон А. Творческая эволюция. М.: КАНОН-пресс, 1998.
2. Декарт Р. Избранные произведения. М., 1950.
3. Ландау Л. Д., Либшиц Е. М. Квантовая механика, нерелятивистская теория. М.: Наука, 1974.
4. Лейбниц Г.В. Ответ на размышления... г-на Бейля о системе предустановленной гармонии // Соч. в 4-х тт. Т. 1. М.: Мысль. 1982.

5. Молчанов Ю.Б. Четыре концепции времени в философии и физике / Ю.Б. Молчанов. М.: Наука, 1977.
6. Ньютон И. Математические начала натуральной философии / Пер. с лат. А.И. Крылова. М., 1989.
7. Пенроуз Р. Новый ум короля. М.: Едиториал УРСС, 2003.
8. Переписка Эйнштейна с М. Бессо // Эйнштейновский сборник 1977. М., 1980.
9. Поппер К. Неоконченный поиск. Интеллектуальная автобиография. М.: Издательство Эдиториал УРСС, 2000.
10. Рейхенбах Г. Направление времени. М., 1962.
11. Смолин Л. Возвращение времени. От античной космогонии к космологии будущего. Litres, 2017.
12. Фок В.А. Современная теория пространства и времени // Природа. 1953. № 12.
13. Хайдеггер М. Бытие и время. М. 1997.
14. Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел / Альберт Эйнштейн. Собрание научных трудов. Т.1. М.: Наука, 1965. с. 7-35.
15. Barbour J. The end of time: The next revolution in physics. Oxford University Press, 2001.
16. DeWitt B.S. Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory // Phys. Rev. 1967. V. 160, №.5. P. 1137.
17. Einstein A., Besso M.A. Albert Einstein, Michele Besso, Correspondence, 1903-1955. Hermann, 1972.
18. Ma X. et al. Experimental delayed-choice entanglement swapping // Nature Physics. 2012. Vol. 8(6), P. 479-484.
19. Ma X. et al. Quantum erasure with causally disconnected choice Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013. Vol. 110(4), P. 1221-1226.
20. McTaggart J.E. The Unreality of Time // Mind. 1908.
21. Merali Z. Quantum's spookiness' passes toughest test yet // Nature. 2015. 525 (7567), P. 14.
22. Putnam H. Time and physical geometry //The Journal of Philosophy. 1967. 64 (8). P. 240-247.
23. Robens C. et al. Ideal negative measurements in quantum walks disprove theories based on classical trajectories // Physical Review X. 2015. Vol. 5(1), P. 011003.
24. Wolchover N. Time's arrow traced to quantum source // Quanta Magazine. 2014. P. 20-27.
25. Wootters W. K. "Time" replaced by quantum correlations. International journal of theoretical physics. 1984. 23(8), 701-711.
26. Zurek W. Quantum Darwinism. Nature Physics. 2009. 5.