

Николенко А.Д.

## ДВИЖЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ И ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭТОМ ПАРАДОКСЫ

*Институт исследований природы времени  
а/я 80, Киев-50, 04050, Украина  
e-mail: adntempo51@gmail.com*

Перемещения материальных тел во времени вне его естественного хода, в отличие от перемещений в пространстве, приводит к парадоксам. Рассматривается вопрос, в связи с чем возникает такая асимметрия движений в пространственно-временном многообразии. Описаны основные парадоксы путешествий во времени, а также сформулированный автором временной парадокс. Особенность построенного автором парадокса заключается в том, что в отличие от классических временных парадоксов, он не нарушает причинно-следственных связей, и, таким образом не может быть обойден с помощью принципа самосогласованности Новикова. Исследование временных парадоксов, в том числе и построенного автором, позволяет лучше понять отличие временного измерения от пространственных в пространстве-времени нашего мира.

*Ключевые слова:* физическая природа времени, движение во времени, парадоксы путешествий во времени, принцип самосогласованности И. Новикова, гипотеза защиты хронологии С. Хокинга.

### 1. Введение

Согласно представлениям теории относительности, ставшей стандартной физической теорией макромира, наш мир представляет собой 4-х мерное пространственно-временное многообразие, в котором размещены и определенным образом движутся материальные тела (под движением будем понимать любые приращения какой-либо координаты тела в выбранной системе отсчета). Поскольку такой мир имеет 4-е измерения, то естественно полагать, что движущиеся в нем тела в свободном движении должны иметь возможность перемещаться во всех 4-х размерностях такого многообразия.

Однако здесь мы сталкиваемся с существенной асимметрией движений физических тел. Если в трехмерном подпространстве с евклидовой метрикой движение может совершаться свободно в любых направлениях, то вот с движением в оставшемся четвертом - временном измерении возникают существенные проблемы. Движение в этом выделенном измерении, о котором мы можем говорить, оказывается строго обязательным для всех массивных физических тел, оно независимо от их индивидуальных свойств; оно строго единообразно, однонаправлено и равномерно. Такое всеобщее единодушное движение всех тел в этом измерении мы воспринимаем как *естественный ход времени*. Разительное отличие свойств движения в этом измерении обусловлено исключительно особенностями метрики и местом, которое в нем занимает временная компонента. Какие либо иные внешние источники, ограничивающие возможности движений физических тел в этой размерности пространства-времени, отсутствуют.

При попытках представить себе свободные движения тел и во временном измерении, подобно движениям в пространственных измерениях (включая возвратные движения), мы тут же сталкиваемся с парадоксами. Парадоксальность движения во времени не возникает только в случае, если такое движение вписывается в естественный ход времени.

### 2. Некоторые уточнения

К сожалению, в физике, и в остальных науках при изучении времени сложилась ошибочная тенденция: два по своей сути разнородных, хотя и родственных явления - время как одно из измерений пространства-времени, с одной стороны, и феномен течения времени, порождающий изменчивость физических и иных природных систем, с другой стороны, обозначались

одним и тем же термином «время». Результатом такой путаницы стало значительное число недоразумений, особенно в философской литературе. Следуя традиции, мы вынуждены объединять два эти по сути различные физические явления, в то же время учитывая их разнородность.

Введение определений даже для интуитивно понятных вещей играет важную роль, особенно когда мы хотим получить конкретный результат. Как важно правильно понимать то, о чем мы говорим и что хотим, можно проиллюстрировать следующей притчей.

Трем пастухам предложили сделать загон для максимально возможного числа овец при минимальной длине требующегося для этого забора. Первый отгородил забором квадратную площадь. Вторым отгородил окружность, так как она занимает большую площадь по отношению к длине забора. Выиграл третий: он отгородил крохотный пятак земли, забрался внутрь и выставил плакат, на котором было написано «Я нахожусь снаружи!». Выигрыш неоспоримый, хотя заказчик этого конкурса вряд ли был удовлетворен.

Уточним некоторые определения, которыми мы будем пользоваться далее.

Мы будем рассматривать точечные материальные *частицы*  $\alpha$  и материальные *системы*  $S$ , по умолчанию имеющие условно точечные размеры и состоящие из объединенных по некоторым принципам компонент.

Наличие внутренней структуры у системы предполагает, что она может находиться в различных состояниях (в отличие от бесструктурных материальных частиц). Другими словами любая физическая система  $S$  может находиться в некотором состоянии  $S_i \in L$ , где  $L$  – множество возможных состояний этой системы.

Будем говорить, что система  $S$  *не обладает изменчивостью*, если все ее возможные внутренние состояния неразличимы между собой ( $S_i \equiv S_j$  для любых  $i$  и  $j$ ). В этом случае система является внутренне стационарной, т. е. независимой от момента наблюдения. Обозначим такую ситуацию как  $\text{var } S = 0$ .

Система  $S$  *обладает изменчивостью*, если можно указать как минимум два ее внутренних состояния,  $S_i$  и  $S_j$ , в отношении которых существует процедура, позволяющая различить их между собой. Обозначим это как  $\text{var } S = 1$ .

Каждому состоянию системы соответствуют связанные с ней события.

В частных случаях изменчивость может быть связана с причинностью. *Причинность*. Пусть дана система  $S$ , для которой  $\text{var } S = 1$ . Следовательно, можно выделить как минимум два ее неидентичных состояния  $S_i$  и  $S_j$ . Если между этими состояниями можно установить бинарное *отношение следования*  $S_i \rightarrow S_j$ , связанное с реализацией некоторых законов природы  $f_i$  из общего числа возможных природных законов  $F$ , (т. е. их локализация для данной ситуации) и субъектами которых являются компоненты этой системы или она сама в целом, то говорят, что предшествующее состояние является причиной, вызывающей последующее состояние - следствие.

Подчеркнем, что для реализации таких причинно-следственных связей некоторым внешним образом должно быть наложено *отношение порядка*, без которого отношение следования состояний системы теряет определенность. Обычно в качестве отношения порядка используется временной порядок.

Отличие между *отношением следования* и *отношением порядка* следующее. Отношение следования является внутренним локальным отношением, определяющим, как связаны между собой два соседних события, и определяется физическими соотношениями системы. А отношение порядка - внешнее, позволяющее сопоставить события одной причинно-следственной цепочки событиям другой, и события между собой в рамках одной и той же причинно-следственной цепочки.

Подчеркнем, что здесь мы говорим о *причинно-связанных событиях*, как о взаимосвязи событий, наступление которых связано между собой теми или иными закономерностями природы. В том числе и для вероятностных процессов, когда возможно прогнозировать изменение их характеристик с течением времени. Кроме того, проявление причинно-следственных связей по сути есть локальная реализация законов природы, и в силу этого темпы реализации причинно-следственных связей не могут отличаться от темпов развития соответствующих природных закономерностей.

Изменчивость любой замкнутой системы может быть результатом реализации в ней тех или иных связанных с ней событий или процессов.

Под *процессом* будем понимать развернутую во времени последовательность причинно-связанных событий, как правило, имеющие определенную пространственную локализацию и определенную длительность (в том числе и бесконечную). Развернутая во времени последовательность случайных событий (стохастические, в т. ч. марковские процессы) также является процессом. Например, чемпионат мира по футболу - это процесс, включающий как последовательность причинно-связанных событий (продвижение команд к финалу чемпионата, или прекращение борьбы, так и случайные события - результаты отдельных матчей).

Будем говорить, что в системе, обладающей изменчивостью, развиваются *внутренние процессы*, если может быть определена развернутая во времени последовательность причинно-связанных и отличающихся между собой состояний этой системы, не связанных с внешним воздействием.

Под *движением* точечного объекта будем понимать такую ситуацию, когда этому объекту сопоставляется более чем один набор отличающихся между собой координат  $(x^0, x^1, x^2, x^3)$ .

Другими словами, движение объекта будет определяться тогда, когда в совокупности связанных с ним наборов координат будет иметься хотя бы одна пара одноименных координат, таких, что их разность будет не равной нулю:  $\Delta x^i \neq 0$ . Из этого определения естественным образом следует, что изменение временной координаты  $\Delta x^0$  при неизменности пространственных координат также должно считаться движением.

Под *наблюдателем*  $O$  условно понимаем систему, способную реализовать *процесс наблюдения и фиксации наблюдаемых событий*. Отсюда следует, что наблюдатель сам должен обладать изменчивостью для реализации процесса наблюдения, т. е.  $\text{var } O = 1$ . Иначе он утратит признаки наблюдателя.

Необходимо отметить еще одну особенность времени. Временной интервал (длительность)  $\Delta t$  имеет существенное отличие от пространственного (расстояние). Оно заключается в том, что временной интервал - это всегда *приращение* от 0 до  $\Delta t$ , а не просто разность соответствующих координат. Чтобы измерить пространственную протяженность вдоль оси  $x$ , мы берем  $x_{max}$  и из него вычитаем  $x_{min}$ , или наоборот (взяв разность по модулю). В отношении длительности:  $\Delta t$  - это всегда процесс, мы должны *сперва* запомнить  $t_{min}$  и только потом  $t_{max}$ , и взять их разность. По-другому не получится, в отличие от пространственного интервала. В записи метрики пространства-времени временная компонента также имеет это отличие от пространственных компонент.

### 3. Течение (ход) времени

«Реальность - это мир процессов ... Описание реальных систем совершенно обязательно должно содержать феномен течения времени» [1].

Факт существования течения времени порождает самый волнующий вопрос темпорологии: почему время вообще идет? Как из неподвижного рождается подвижное? Что за таинственный механизм запустил это движение?

К сожалению, феномен течения времени по сей день остается одной из самых удивительных загадок природы, и она не торопится давать нам подсказки для ее решения.

Можно выделить несколько подходов к пониманию проблемы течения времени и связанной с этим явлением изменчивости физических систем.

1. Первый и довольно распространенный подход - времени как физического явления нет вообще. Есть индивидуальные длительности процессов, не более того. А представление о всеобщем течении времени явилось следствием ретенции - запоминании прошедших событий, и воспоминании о них как о мысленном потоке событий, ушедших в прошлое.

Однако с таким подходом трудно согласуются достижения современной физики: в основе теории относительности, ставшей стандартной физической теорией, лежит восходящее к Г. Минковскому представление о единстве пространства и времени как о реальности нашего мира. Другими словами, можно сказать, что *время реально настолько, насколько реально пространство, и пространство реально настолько, насколько реально время*. А в реальности про-

странства мало кто сомневается, так что и времени трудно отказать в том же.

Иногда ссылаются на то, что поскольку ход времени мы не можем измерить непосредственно, а только через ход часов (т. е. через пространственные изменения положений их стрелок), то и течение времени тоже, по сути, пространственное явление, не имеющее самостоятельной сущности. Это не так. К примеру, такая важная характеристика физических процессов, как температура, также не может быть измерена непосредственно. Об изменении температуры судят по изменению других физических свойств тел (объёма, давления, электрического сопротивления, ЭДС, интенсивности излучения и др.), однозначно с ней связанных. Однако при этом она не сводима ни к одному из этих физических явлений. Так и измерение хода времени часами не служит основанием лишать течение времени самостоятельной роли.

Совершенно неясно, как в данной интерпретации времени возникает общий для всех момент Настоящего, и каким образом его наступление так удачно координируется со всем необозримым разнообразием происходящих в природе процессов. И почему одни и те же процессы, протекая в разных местах, на большом пространственном и временном удалении друг от друга, реализуется точно также, с теми же темпами, несмотря на разность внешних условий.

2. Другое понимание течения времени заключается в том, что пространство-время теории относительности рассматривается по сути как неподвижный мир. А течение времени задается в нем «скольжением» сознания во временном измерении, последовательным осознанием мыслящим субъектом упорядоченной цепочки событий. Течение времени, по существу, представляется иллюзией разума. Данный подход среди современных ученых развивается доктором физ.-мат. наук А. К. Гуцем, в частности в интересных монографиях «Физика реальности» [2] и «Элементы теории времени» [3].

Если принять за основу положение о том, что течение времени - это продукт работы сознания, то само сознание должно быть «над течением времени»! Но ведь работа сознания, осознание того или иного явления, в том числе хода событий, согласно данным современной физиологии мозга, тоже есть процесс. Для реализации его самого необходим ход времени, иначе процесс осознания должен стать мгновенным, т. е. оказаться вне времени - а это отсылка к непознаваемому. Либо должен существовать сверхмозг, который индуцирует ход времени для мозгов низшего уровня. Но и для его работы течение времени необходимо. В результате мы проваливаемся в бесконечную иерархию сознаний, что совершенно неприемлемо ввиду своей неконструктивности. Далее мы еще затронем этот вопрос.

3. Существует подход, основанный на представлении о времени как некоей особой материальной или полевой субстанции (в т. ч. в духе Н. Козырева), которая формирует специфические потоки времени. Скептическое отношение к этому подходу основывается вот на чем. Действительно, течение времени обеспечивает свойство изменчивости материи. Но если «временная субстанция» так активно воздействует на материю, то возникает естественный вопрос - а что обеспечивает необходимую изменчивость самой временной субстанции? Еще одна временная субстанция? А за счет чего изменяется она сама? И так можно продолжать до бесконечности.

В сущности, такой подход напоминает историю с теплотодом. Для того, чтобы понять тепловые явления, изначально пошли по наиболее простому пути - ввели понятие об особой субстанции - теплотоде, который перетекает от нагретого тела к холодному. Хотя это представление на начальных этапах исследований было полезным, оно было в конечном итоге отброшено, и современная теория теплоты сформировалась без участия теплотода.

4. С точки зрения автора, физический носитель свойств времени, тем не менее, действительно существует, и это сама материя. Ключ к тайнам времени следует искать в ней самой и свойствах пространственно-временного многообразия. Таким образом, течение времени рассматривается как объективный и вполне естественный физический процесс. Однако и этот подход пока не дает ответа, как такой процесс оказался возможен в нашем мире. Самая большая загадка - если течение времени - процесс, то как он сам запустился? Ведь для запуска ему самому потребовалось бы течение времени, которого еще не было?

В пользу того, что носителями феномена течения времени являются непосредственно материальные тела, а не какая-либо иная специфическая субстанция или полевая структура,

говорит то, что описанные в теории относительности изменения хода времени порождаются свойствами самих материальных тел, в частности их пространственными движениями и наличием гравитационной массы.

Таким образом, подход автора заключается в том, что течение времени по сути представлена реальным механическим движением частиц во временном измерении. Другими словами, в нашем мире должно существовать скрытое внепространственное механическое движение частиц [4], развивающееся во временном измерении как составляющая ее общего механического движения в пространственно-временном многообразии.

В конечном счете, если есть четвертое измерение, должно же там что-нибудь двигаться.

#### **4. Время, энергия и познаваемость мира**

Для реализации любого динамичного процесса требуются ресурсы. И как минимум требуются ресурсы двух видов: время (без ресурса  $\Delta t$  ни один процесс в природе «не сдвинется с места»), и энергия.

Тесное родство этих физических явлений видно и из теоремы Нетер, согласно которой ключевое свойство времени - однородность, тесно связано с сохранением энергии замкнутых систем, и из взаимоувязки этих понятий в принципе неопределенности Гейзенберга.

Поэтому можно полагать, что время - это такой же расходуемый ресурс для эволюционирующих систем, как и энергия. Акты запуска и остановки времени (поглощение и излучение фотонов) всегда связаны с изменением энергетического состояния объекта.

Реализация кинетической энергии неразрывна связана с расходом времени.

Эти соображения приводят к необходимости более внимательно исследовать их взаимосвязь. Энергия не тождественна времени. Энергия связана с темпами течения времени через формулу Эйнштейна:

$$E = mc^2 \gamma = mc^2 \frac{dt}{d\tau}. \quad (1)$$

Здесь  $m$  – инвариантная масса,  $\gamma$  – Лоренцев фактор,  $dt$  и  $d\tau$  – приращения времени в лабораторной и собственной системах координат,  $c$  – скорость света в вакууме.

Работа человеческого сознания, мышление, осознание окружающего мира по своей физической природе также представляют собой процессы, следовательно, возникает необходимость во временных ресурсах для них - наши современные знания о физиологии мозга говорят в пользу этого.

Проблема познания физического содержания течения времени сталкивается с трудностью, заключающейся в том, что для реализации процесса познания познающий субъект сам должен быть охвачен течением времени. Таким образом, мир, в котором отсутствует течение времени, является непознаваемым из-за невозможности присутствия в нем познающего субъекта. Необходимые для него временные ресурсы в таком мире отсутствуют. Если же мы пытаемся понять течение времени, уже это само по себе говорит о том, что мы существуем в мире со временем. Перефразируя знаменитое выражение Рене Декарта, можно сказать: «Мыслю, значит испытываю течение времени!». Течение времени делает наш мир познаваемым.

Если же мы утверждаем, что течение времени обусловлено процессом последовательного осознания событий нашего мира, то в этом случае должны согласиться, что осознающий субъект сам должен оказаться вне времени. Иначе он изначально должен обеспечить самого себя временными ресурсами для мышления, но ведь их еще нет. Следовательно, обеспечить ими себя самого он не сможет в принципе. Сформироваться процесс осознания, и возникающий в результате него процесс течения времени, в такой ситуации не сможет никак. Возникает замкнутый круг: течения времени обусловлено его осознанием, а для осознания нужно течение времени. И при данном подходе к объяснению течения времени мы неизбежно придем к необходимости существования непознаваемого мыслящего объекта, существующего вне времени. При таком подходе неизбежно возникает отсылка к непознаваемому, что, конечно, значительно упрощает ситуацию для нас, но все-таки такой отсылки хотелось бы избежать.

## 5. Понятие Прошлого

Для того, чтобы говорить о движении во времени (в частности будем говорить о путешествиях в Прошлом) и возникающих при этом парадоксах, необходимо дать определение понятию области Прошлого, которая будет нас интересовать.

Под Прошлым можно понимать область четырехмерного Лоренцева многообразия, каждое точечное событие  $C(x^0, x^1, x^2, x^3)$ ,  $x^0 = ct$ , которого определяется условием  $t < T$ . Здесь  $T$  – выбранный момент Настоящего, относительно которого это Прошлом рассматривается. Поскольку в данном определении область Прошлого определяется через координаты составляющих его точечных событий, будем далее именовать его *координатным Прошлым*, и обозначим его как  $P_c$ .

С другой стороны, Прошлом можно определить как *упорядоченную совокупность реализованных (свершившихся) событий*. Назовем его событийным Прошлым и обозначим как  $P_e$ . Таким образом,  $P_e = \{C_i(t)\}$ , где  $C_i(t)$  – совершившиеся события, упорядоченные по временному параметру  $t$ . Заметим, что любое совершившееся событие является фактом. Поэтому событийное Прошлом можно назвать пространством событий-фактов.

Эти определения между собой не эквивалентны: первое допускает появление в Прошлом новых объектов, т. е. совершение событий в Прошлом, второе – нет, так как оно состоит исключительно из уже совершившихся событий, и таким образом полностью неизменно. Вместе с тем следует отметить, что часто при обсуждении темы перемещений во времени происходит подмена координатного Прошлого на событийное Прошлом, что, вообще говоря, не является корректным, поскольку неизменность Прошлого мы доказать не можем ни экспериментально, ни убедительными теоретическими аргументами.

В данной работе будем основываться на понятии координатного Прошлого, допускающего в принципе возможность путешествий во времени для физических объектов.

Будем полагать временное и пространственные измерения неограниченными.

Стоит заметить, что гипотетические путешествия во времени позволяют как бы с высоты птичьего полета увидеть особенности и свойства пространства-времени, что делает их привлекательными для исследователей.

## 6. Принцип (свойство) определенности и естественный ход времени

Метрика псевдоевклидова пространства-времени, в отличие от изотропного евклидова пространства, противопоставляет одно из измерений (временное) трем другим – пространственным. Как известно, для пространства-времени Минковского в сигнатуре (+---) она имеет вид:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - (dx^1)^2 - (dx^2)^2 - (dx^3)^2. \quad (2)$$

Вид метрики несет важную особенность: ее псевдоевклидовость приводит к ограничению на пространственные скорости, в результате чего все мировые линии вытягиваются вдоль этого измерения таким образом, что возникает взаимно-однозначное соответствие между точками временной оси и положениями частиц и состояниями систем. Это взаимная однозначность относительно временной оси приводит к тому, что в заданной системе отсчета каждому моменту времени соответствует единственное состояние системы. Такого нет в отношении пространственных координат. Действительно, в одной и той же точке пространства, задаваемой тремя пространственными координатами, могут находиться и Наполеон, и дерево, и кот Мурзик. Мы можем отделить кота от дерева, и т. д. только через их локализацию во времени. Другими словами, система  $S$ , занимающая фиксированное пространственное положение, может, тем не менее, находиться в сколь угодно большом числе допустимых состояний, в то время как относительно временного измерения каждому моменту времени может соответствовать только одно ее состояние.

Эта ключевая для формирования временного порядка геометрическая особенность пространства-времени может быть сформулирована в виде следующего принципа.

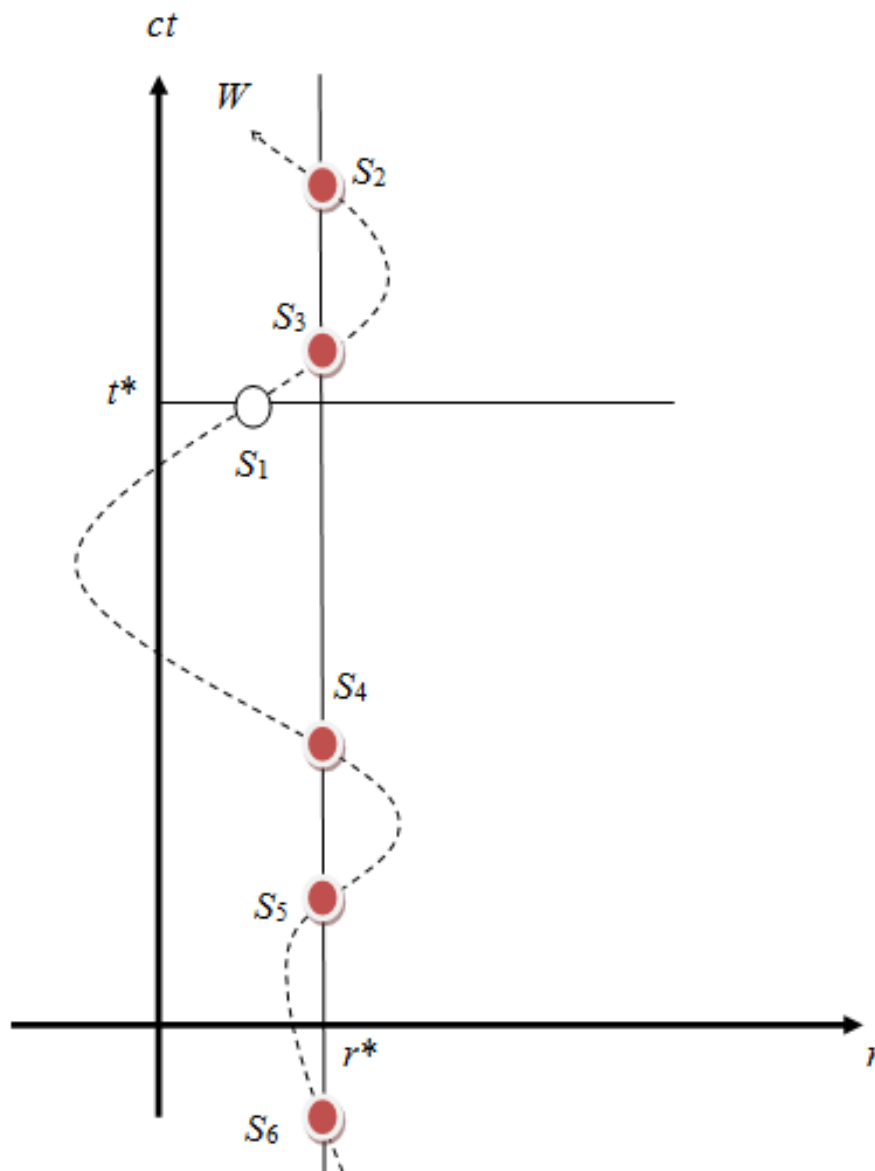
Пусть имеется некоторая физическая система  $S$ , которая может находиться в некотором состоянии  $S_i \in L$ , где  $L$  – множество возможных состояний этой системы.

**Принцип макроопределенности.** Любая физическая макросистема  $S$  всегда однозначно определена относительно любого произвольно взятого момента времени  $t$ .

Или, другими словами, любая физическая макросистема  $S$  для любого произвольно заданного момента времени  $t$  может находиться в одном и только одном состоянии  $S_i(t)$ :

$$t : S_i(t) \equiv S_j(t), \quad (3)$$

т. е. для любого  $t$  всегда  $i = j$ . Изменчивость относительно отдельно взятого момента времени отсутствует:  $\text{var } S(t) = 0$ .



**Рис. 1. К принципу макроопределенности.** Относительно временной локализации  $t^*$  система  $S$  находится в *единственном* состоянии  $S_1$ . Относительно пространственной локализации  $r^*$  единственность утрачивается и система  $S$  может находиться в множестве состояний:  $S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ .  $W$  – мировая линия системы  $S$ .

Это очевидно для физических макросистем. Благодаря этому принципу у нас имеется возможность развивать точные и технические науки. Он открывает возможность прогнозирования развития систем и процессов с достаточно высокой точностью, в области микрообъектов с точностью до принципа неопределенности Гейзенберга.

Данный принцип демонстрирует качественное отличие временного измерения от про-

странственных. Возможно, что существуют миры, в которых принцип определенности не действует. Но в нашем мире ситуация обстоит именно так.

Под *естественным ходом времени* в рамках данной работы будем понимать ход времени, при котором движение материальной частицы по своей мировой линии может быть описано с помощью релятивистского 4-х вектора скорости:

$$u^i = \frac{dx^i}{d\tau}, \quad (4)$$

в координатном выражении:

$$u^i = (c\gamma, \vec{v}\gamma). \quad (5)$$

При этом:

$$u^i u_i = c^2. \quad (6)$$

Геометрически  $u^i$  есть касательный 4-х вектор к мировой линии частицы с фиксированным модулем, равным  $c$  (см. например [5]).

Такое определение хорошо согласуется с теорией относительности.

## 7. Путешествие во времени как теоретически допустимое физическое явление

Сложилась традиция рассматривать движение физических тел во времени, отличающееся от естественного хода времени, как путешествие в Прошлое некоторого любопытного путешественника, что, впрочем, не меняет сути дела.

Впервые путешествие во времени как вполне допустимое физическое явление появилось в работе знаменитого австрийского математика Курта Геделя в 1949 году [6]. В рамках найденного им точного решения уравнений Эйнштейна оказывалось возможным существование замкнутых гладких времениподобных мировых линий (временных петель), что и было интерпретировано им как возможность построения машины времени. Замкнутые времениподобные кривые на Лоренцевом многообразии, возвращающиеся в исходную пространственно-временную точку, возникают и в других моделях, таких как «цилиндр Типлера». Интерес к ним со стороны профессиональных физиков еще более возрос после того, как известный физик-теоретик Кип Торн предложил использовать для путешествий во времени возможные топологические особенности пространства-времени - «кротовые норы», или «червоточины» [7,8]. Стоит упомянуть и близкую к такому подходу разработку, получившую название «Труба Красникова» [9].

В последнее время интерес проявляется к идее, основанной на точном решении уравнений Эйнштейна, которая была предложена мексиканским физиком-теоретиком Мигелем Алькубьерре - «Пузырь Алькубьерре». В 1994 году Алькубьерре предложил метод изменения геометрии пространства-времени посредством создания волны, сжимающей пространство впереди и расширяющей его сзади [10]. Движение выше скорости света невозможно для объектов в нормальном пространстве-времени. Однако вместо перемещения выше скорости света в пределах локальной системы координат космический корабль может двигаться, сжимая пространство перед собой и расширяя его позади, что позволяет ему фактически перемещаться с любой скоростью, в том числе быстрее света. Корабль движется в гипер-релятивистском локально-динамическом пространстве. Такое движение в принципе допускает и путешествия во времени. Имеются сведения об исследовательских разработках NASA в области основанного на этом принципе двигателя «warp-drive» [11].

Тема перемещений во времени неоднократно обсуждалась в работах крупнейших физиков, в частности А. Эйнштейна, И. Новикова, С. Хокинга и многих других [6-16]. Рассмотрение возможности путешествий во времени как физического явления (по крайней мере теоретически) сталкивается с существованием парадоксов путешествий во времени. Это порождает серьезный дискомфорт в научной среде: обнаружение временных петель в изучаемых моделях пространства-времени не уравнивается каким-либо реальным физическим механизмом, исключающим возможность путешествий во времени. В результате возникающие при этом классические парадоксы путешествий во времени не преодолеваются на основе физических соображений, как того хотел А. Эйнштейн [12], порождая сомнения в полноте наших знаний основ-



ных закономерностей, по которым строится наш мир.

В первую очередь идея путешествий во времени сталкивается с проблемой, заключающейся в нарушении фундаментального принципа причинности в процессе таких путешествий. Принцип причинности устанавливает границы влияния физических событий друг на друга: он исключает влияние данного события на все прошедшие события (событие—причина всегда предшествует событию—следствию), формируя, таким образом, допустимые причинно-следственные связи между событиями. Однако это эмпирически установленный принцип, и в силу этого мы не можем исключать возможности нарушения этого принципа в определенных (пока еще неизвестных) условиях.

Еще одна трудность возникает из-за того, что если допустить возможность произвольного движения во временном измерении, то начальные условия такого движения могут оказаться вне возможностей нашего наблюдения (в области Будущего), что сводит на нет весь наш аналитический и прогнозный потенциал. В отличие от обычного процесса путешествия в пространстве, начальные условия которого задаются для путешественника в его известном Прошлом.

Проанализируем, как возникают основные парадоксы путешествий во времени.

## **8. Парадоксы путешествий во времени**

**Первая группа** парадоксов основывается на нарушении принципа причинности при перемещениях во времени через нарушение причинно-следственных связей: следствие ликвидирует свою собственную причину. В парадоксах этой группы объект (или информация) существует и действует, по сути, не имея своего начала.

Наиболее популярным из этой группы является *парадокс убитого дедушки* (или, в зависимости от кровожадности автора, бабушки). Впервые он был описан в 1943 году писателем-фантастом Рене Баржавелем (René Barjavel) в своей книге *Le Voyageur Imprudent*. Путешественник перемещается в прошлое и убивает своего дедушку, еще до того, как дедушка познакомился с его бабушкой. Из-за этого он не сможет появиться на свет и, следовательно, убить своего дедушку. Получается, что рождение Путешественника является причиной того, что он не может родиться, что и порождает парадокс.

Можно сократить цепочку потомков, что приводит к известному в философии парадоксу этой группы – «*автоинфантицид*»: путешественник возвращается в прошлое и убивает самого себя в детстве.

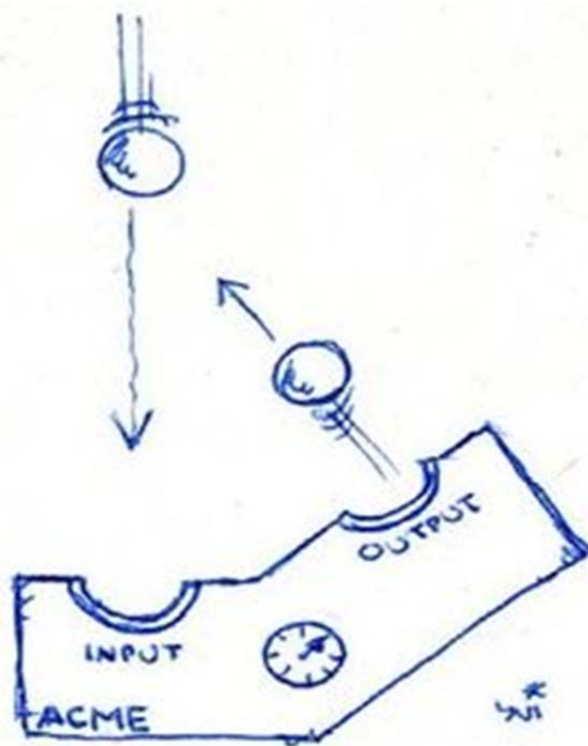
Возможен также вариант парадокса («*парадокс происхождения*»), в котором изобретатель машины времени возвращается в прошлое и уничтожает все и всех, причастных к ее созданию.

Известен также *парадокс убийства Гитлера*. Путешественник перемещается в прошлое и убивает известного человека, в данном случае Гитлера, еще до того, как он получил известность. Однако этим самым он уничтожает причину (и мотивацию) своего криминального путешествия: Гитлер остается в истории всего лишь безвестным ефрейтором, безвинной жертвой убийства. И путешествие в прошлое теперь теряет смысл.

*Парадокс Польчинского*. Бильярдный шар запускается в сторону «кратовой норы» таким образом, чтобы он проходит через нее и попадает в прошлое. На выходе из «кратовой норы» в прошлом он сталкивается с самим собой и отклоняет траекторию своего движения таким образом, что в результате он не попадает в «кратовую нору». Но если шар не попадает в нее, то причина его отклонения утрачивается, и т. д. Особенность парадокса Польчинского в том, что он непосредственно связан с одним из теоретически возможных путешествий во времени с использованием «кратовых нор». И главное – в нем отсутствует важная составляющая других парадоксов – свобода выбора действий путешественника во времени. Механическое движение шара через «кратовую нору» мы можем заранее рассчитать, и этот расчет приводит к парадоксу. При этом конкретного физического механизма, предотвращающего данный парадокс, не просматривается.

**Вторая группа** парадоксов также основывается на нарушении принципа причинности при перемещениях во времени через нарушение причинно-следственных связей: следствие порождает свою собственную причину. В парадоксах объект (или информация) существует и дей-

ствует, по сути, порождая сам себя из ничего. Происходит как бы «самосоздание себя из ничего».



**Рис. 2. Парадокс Польчинского.** Шар входит в машину времени (кротовую нору) и выходит из нее в прошлом таким образом, что в результате столкновения с самим собой отклоняет свою траекторию от входа в машину времени. В результате шар не попадает в машину и не может отклонить свою траекторию, и т. д. Ситуация становится совершенно неопределенной.

*Парадокс Фрая:* Путешественник попадает в прошлое, имеет половую связь со своей бабушкой и зачинает своего отца, становясь, таким образом, самому себе дедушкой. В результате получается череда потомков, включая родителей путешественника и его самого. Следовательно, если бы он не совершил путешествие в прошлое, его самого бы не существовало. Рождение путешественника в будущем оказывается причиной его зачатия в прошлом, что и порождает данный парадокс.

В фантастическом фильме «Терминатор» герой фильма – Джо Коннор смог родиться, отправив в прошлое своего отца Кайла Риза. Его связь с будущей матерью Коннора дала возможность Коннору в дальнейшем появиться на свет.

Следует отметить одну особенность, возникающую в парадоксах, когда путешественник во времени совершает событие в Прошлом, которое становится причиной его появления на свет.

*Утверждение. В парадоксальных ситуациях такого рода с «самосозданием» путешественник не может существовать после даты его отъезда в Прошлое.*

Другими словами, по мнению окружающих, он не сможет пережить свою поездку в Прошлое.

Действительно: каждый раз он снова и снова должен возвращаться в Прошлое, чтобы совершить событие, ставшее причиной его существования. А это значит, что вырваться из «порочного круга» - временной петли он не может, и его существование в таком мире окажется ограничено временными рамками путешествия во времени.

В литературе и фантастических фильмах приводятся еще достаточно много подобного рода парадоксальных ситуаций, возникающих при перемещении во времени, но в их основе лежит, как правило, нарушение причинно-следственных связей.

Следовательно, если найдется физический механизм, препятствующий такому нарушению, то будет ли это означать, что все парадоксы путешествий во времени утрачивают силу? Задача поиска «физических соображений», позволяющих исключить существование временных петель, ставилась еще в работе Эйнштейна [12].

### **9. Принцип самосогласованности Новикова**

Сильным средством для защиты от губительного действия парадоксов стал «принцип самосогласованности И. Новикова» Остановимся на нем подробнее.

Этот принцип, сформулированный крупнейшим физиком-теоретиком И. Д. Новиковым, постулирует, что *из всех возможных моделей, допускаемых известными законами физики, в нашей Вселенной локально могут существовать только те, которые глобально самосогласованны*. Принцип Новикова позволяет исследователям строить решения физических уравнений только при условии что локальное решение может быть расширено до части (не обязательно уникальной) глобального решения, которое определено для всех частей пространства-времени за исключением сингулярностей.

В более простой формулировке принцип самосогласованности постулирует, что *при перемещении в прошлое вероятность действия, изменяющего уже случившиеся с путешественником событие, стремится к нулю*.

Идею о том, что существование замкнутых времениподобных линий не всегда связано с нарушением принципа причинности, Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков высказали в 1975 году. Они предположили, что события на такой линии могут быть самосогласованны, т. е. должны так влиять друг на друга, что это не приводит к возникновению парадоксальных ситуаций.

Самосогласованность событий можно проиллюстрировать на примере древнегреческой легенды о смерти Эхила. Оракул, по предположению видевший события будущего, сообщил Эхилу точную дату его смерти. В назначенный день Эхил, чувствующий себя прекрасно, в надежде избежать смерти, удалился в открытое чистое поле, где ничто не могло ему угрожать. Однако в этой местности водились орлы, любившие полакомиться черепахами. Для этого они, схватив черепаху, поднимались на большую высоту и оттуда швыряли черепаху о камни, чтобы разбить ее панцирь. Один из таких орлов, увидев блестящую на солнце лысину Эхила, бросил в нее черепаху. И с великим трагиком было покончено, строго в согласовании с предвидением. Получается, что пытаясь избежать предсказанного трагического события, он сам все сделал для его осуществления, что и породило цепочку согласованных событий.

Принцип самосогласованности позволил сохранить нашу мечту о возможности путешествий во времени, показав допустимость возможности попасть в прошлое, не нарушая принцип причинности и не разрушая структуры причинно-следственных связей.

К сожалению, принцип самосогласованности носит характер постулата, т. е. не содержит физического механизма своей реализации. Кроме того, он эффективен в борьбе с временными парадоксами, основывающимися на нарушении причинно-следственных связей.

Исследование этого принципа естественным образом приводит к задаче поиска временного парадокса, не связанного с непосредственным нарушением причинно-следственных связей. Существование такого класса парадоксов поставило бы под сомнение представление о том, что все проблемы машины времени заключаются в возникновении временных петель.

### **10. Парадокс, не связанный с нарушением причинно-следственных связей**

Рассмотрим следующую ситуацию. Допустим, что утром 1 мая 2025 года Путешественник 1 на гипотетической машине времени отправился в Прошлое, в 30 января 1649 года, в средневековый Лондон посмотреть на казнь короля Карла I. Вернувшись в то же утро 1 мая 2025 года, он рассказывает подробности казни и как он видел тело обезглавленного короля. На следующее утро 2 мая 2025 года Путешественник 2 отправляется туда же, и, вернувшись, рассказывает, что видел живого Карла, одетого во все черное, и видел взмах топора, лишившего короля головы. На следующее утро 3 мая 2025 года Путешественник 3 отправляется туда же, и, вернувшись, рассказывает о том, как живой король Карл I держался с большим достоинством, поднимаясь на помост перед королевским дворцом. На следующее утро следующий Путеше-

ственник убывает в свое путешествие и снова наблюдает те же самые события, и т. д.

Что же получается? Каждое утро, когда я пью свою чашечку кофе, в далеком 1649 году несчастный король Карл тяжелым шагом снова и снова поднимается на эшафот, чтобы снова и снова лишиться головы? И новые толпы путешественников во времени смогут запечатлеть это зрелище? Сколько же их в конце концов соберется вокруг окровавленного эшафота?

Очевидно, что, допустив произвольные перемещения во времени, мы приходим к абсурду.

Автором этот абсурд был сформулирован в виде следующего парадокса, который не связан с непосредственным нарушением причинно-следственных связей [17]:

*При допущении возможности произвольных перемещений физических тел во времени вне его естественного хода теряется определенность макросистем относительно фиксированных (т. е. отдельно взятых) моментов времени.*

Другими словами, в таких ситуациях возникает особого рода неопределенность, исключающая возможность получения количественных данных об объектах, находящихся в некоторой области в определенный момент времени.

Допустим, что мы имеем машину для перемещения в пространственном измерении. Пусть из разных пространственных положений путешественники приезжают в некоторую пространственную точку  $A$ , а в момент  $T$  их скрытно пересчитывает и фотографирует наблюдатель  $N$ . Тогда возникает достаточно простая ситуация: наблюдатель насчитывает  $k$  путешественников, которые успели к моменту  $T$  прибыть в точку  $A$ .

Число  $k$  будет определенным и конечным, поскольку мгновенное фото (и мгновенный пересчет) выхватывает из всей массы путешественников именно тех, которые в момент  $T$  оказались в точке  $A$ .

Теперь сравним, какие возможности будут у наблюдателя при допущении возможности управляемых перемещений во временном измерении, т. е. заменим пространственные измерения на временное.

Пусть путешественники, живущие в разные эпохи, получают в свое распоряжение машины времени, обеспечивающие их управляемые перемещения во временном измерении, и будет создана мотивация побывать в точке  $A$  в момент времени  $T$ . А перед наблюдателем поставим ту же задачу: скрытно произвести мгновенный пересчет и сделать мгновенное фото всех, кто окажется в момент  $T$  в пространственной точке  $A$ .

И здесь, в отличие от пространственных путешествий, возникает парадоксальная ситуация: наблюдатель не сможет пересчитать и сфотографировать всех путешественников, которые оказались в точке  $A$  в момент времени  $T$ !

Действительно, пусть таких путешественников  $n$ . Но ведь вполне допустима ситуация, что в будущем появится  $(n+1)$ -й путешественник, который захочет совершить путешествие во временном измерении в прошлое и появиться в указанной пространственно-временной точке. И эта ситуация может многократно повторяться в будущем. В результате чего число  $n$  оказывается в общем случае *неопределенным*, что исключает возможность пересчета и фотографирования *всех* путешественников во времени, побывавших в этой точке. И в этой ситуации, как бы не старался наблюдатель, он в принципе не сможет пересчитать и сфотографировать ситуацию в момент  $T$  в точке  $A$ .

Другими словами, при осуществимости путешествий в пространстве количество путешественников для конкретного момента времени можно зафиксировать, и оно для этого момента всегда остается неизменным, а при возможности путешествий во времени зафиксировать количество путешественников для определенного момента времени оказывается не возможным. В этом случае временная локализация системы не приводит к ее определенности. Это прямо противоречит рассмотренному выше принципу макроопределенности, что и порождает парадокс.

Следствие этого парадокса: *при допущении возможности перемещения во времени (в координатное Прошлое или координатное Будущее) возникают ситуации, в которых в общем случае утрачивается возможность мгновенной фотосъемки и пересчета объектов в некоторой пространственной области в заданный момент времени.*

Физический смысл рассматриваемого парадокса заключается в следующем.

Количество вещества физической макросистемы в произвольно выбранный момент времени должно быть достаточно строго определено. Если же мы допускаем возможность произвольных перемещений во времени, то такая определенность утрачивается. Следовательно, любые физические взаимодействия такой макросистемы, в частности гравитационное и электромагнитное, с окружающей средой теряют свою определенность. Однако физическая система с неопределенными физическими взаимодействиями не способна образовывать устойчивые макроструктуры, и, таким образом, существовать в нашем понимании не может.

Мы же видим обратное - в нашем мире устойчивые макроструктуры существуют. Поэтому, опираясь на антропный принцип, можно сказать, что мы существуем в мире, достаточно определенном относительно любого момента времени (принцип определенности). Следовательно, произвольные перемещения физических объектов во времени в нем не должны иметь место - это необходимое условие его стабильности.

Существование описанного парадокса ставит барьер перед осуществимостью машины времени, так как мир, допускающий выбираемое произвольным образом перемещение во времени, как минимум в ряде точек теряет определенность и вряд ли может существовать.

Рассматриваемый парадокс подчеркивает принципиальную разницу между пространственными и временным измерениями, это во-первых. Мы не можем сказать, сколько путешественников посетят город Венецию. Но, в принципе, можем точно посчитать, сколько путешественников будет в этом городе 1 августа 2014 года.

Во-вторых, он не связан с нарушением причинно-следственных связей: путешественники и наблюдатель между собой никак не связаны, и речь идет не о последствиях действий наблюдателя или путешественников в прошлом, а о парадоксальной ситуации, которая складывается в выделенный момент времени  $T$ .

Таким образом, непосредственного нарушения причинно-следственных связей нет. Их целостность и сохранность указывает на то, что события в таком мире остаются самосогласованными, однако при этом обнаруживается факт существования описанной парадоксальной ситуации. Это приводит к тому, что данный парадокс, к сожалению, преодолевает защитный барьер в виде принципа самосогласованности И. Новикова

## **11. Основные особенности парадокса**

1. Рассматриваемый парадокс подчеркивает принципиальную разницу между пространственными и временным измерениями.

2. Он непосредственно не связан с нарушением причинно-следственных связей: путешественники и наблюдатель между собой никак не связаны. Речь идет не о последствиях действий наблюдателя или путешественников в прошлом, а о парадоксальной ситуации, которая складывается в выделенный момент времени  $T$  в результате их перемещений во времени.

3. Сохранение причинно-следственных связей указывает на то, что события в таком мире могут быть самосогласованными, однако при этом обнаруживается факт существования описанной парадоксальной ситуации. Следовательно, данный парадокс преодолевает защитный барьер в виде принципа самосогласованности Новикова.

4. Существование описанного парадокса ставит барьер перед физической осуществимостью машины времени, так как макромир, допускающий произвольные перемещения во времени, теряет определенность относительно любого выделенного момента времени и силу этого не может существовать в том виде, в каком мы его воспринимаем.

Похоже, что построить машину времени будет так же трудно, как и верблюду пройти через игольное ушко. Хотя с верблюдом легче: он, в принципе, может проникнуть через игольное ушко, если будет находиться в стадии сперматозоида.

## **12. Гипотеза защиты хронологии С. Хокинга**

Рассматривая перемещения во времени, нельзя обойти мы гипотезу защиты хронологии, выдвинутую выдающимся физиком-теоретиком Стивеном Хокингом. Он сформулировал ее так: «*Законы физики устроены так, что не допускают перемещения во времени макроскопиче-*

ских объектов» [16]. Эта гипотеза снимает все парадоксы путешествий во времени просто путем прямого их запрета. Однако здесь мы не видим ответа на вопрос Эйнштейна о том, как именно возникает и как работает физический механизм защиты хронологии.

Возможно, что описанный автором парадокс можно связать с искомым механизмом защиты хронологии, поскольку возникающая в его рамках неопределенность несовместима со стабильностью нашего физического мира.

Стоит отметить, у этой знаменитой гипотезы С. Хокинга есть ахиллесова пята. Ведь перемещение во времени макрообъектов, которое запрещает эта гипотеза, являются основой фундаментального свойства природы: изменчивости нашего мира. Действительно, временная координата любых известных нам объектов во Вселенной постоянно и скоординировано возрастает, что и отражает ход наших часов. Собственно говоря, это и есть всеобщее перемещение во времени.

Учитывая этот факт, возможно, следует внести корректировку в гипотезу С. Хокинга и читать его так: «Законы физики устроены так, что не допускают перемещения макроскопических объектов во времени *вне его естественного хода*».

### Л и т е р а т у р а :

1. Левич А. П. Искусство и метод в моделировании систем. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012.
2. Гуц А. К. Физика реальности. – Омск: Изд-во КАН, 2012.
3. Гуц А. К. Элементы теории времени. – М.: Изд-во ЛКИ, 2011.
4. Николенко А. Д. Течение времени: условность или физическая реальность? К вопросу идентификации темпорального процесса в специальной теории относительности. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. – 2005. – № 4. – С. 47.
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. – М.: Наука, 1967.
6. Gödel K. An Example of a New Type of Cosmological Solutions of Einstein's Field Equations of Gravitation. // Rev. Mod. Phys. – 1949. – V. 21. – N. 3. – P. 447-450.
7. Morris M. S., Thorne K. S., Yurtsever U. Wormholes, Time machines, and the Weak Energy Condition. // Phys. Rev. Lett. – 1988. – V. 61. – N. 13. – P. 1446-1449.
8. Morris M. S., Thorne K. S. Wormholes in spacetime and their use for interstellar travel: A tool teaching general relativity. // Am. J. Phys. – 1988. – V. 56. – N. 5. – P. 395-412.
9. Krasnikov S. V. Quantum stability of the time machine. // Phys. Rev. D – 1996. – V. 54. – P. 7322.
10. Alcubierre, M. The warp drive: hyper-fast travel within general relativity. // Classical and Quantum Gravity. – 1994 – V. 11 (5). – L73-L77.
11. Roundup. Lyndon B. Johnson Space Center (July 2012).
12. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т. 4. – М.: Наука, 1967.
13. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Структура и эволюция вселенной. – М.: Наука, 1975.
14. Новиков И. Д. Анализ работы машины времени. // ЖЭТФ. – 1989. – Т. 95. – Вып. 3. – С. 769-776.
15. Frolov V. P., Novikov I. D. Physical effects in wormholes and time machine. // Phys. Rev. D. – 1990. – V. 42. – N. 4. – P. 1057-1065.
16. Хокинг С. Мир в ореховой скорлупе. – СПб.: Амфора, 2007.
17. Nikolenko O. D. Paradox in time travel, unassociated with the violation of causality. // Physics Essays. – 2015. – Vol. 28. – No. 1. – P. 11-13.

*Статья поступила в редакцию 22.01.2015 г.*

*Nikolenko O.D.*

### **The movement in time and the resulting paradoxes**

Movements of material bodies in time out of its natural course, unlike movements in space, leads to paradoxes. The question in this connection there is such asymmetry of movements in existential variety is considered. The main paradoxes of travel in time, and also the time paradox formulated by the author are described. Feature of the paradox constructed by the author is that unlike classical temporary paradoxes, it doesn't break relationships of cause and effect, and, thus can't be bypassed by means of the I. Novikov self-consistency principle. Research of temporary paradoxes including constructed by the author, allows to understand better difference of temporary measurement from spatial in space time of our world.

*Keywords:* physical nature of time, movement in time, paradoxes of travel in time, I. Novikov self-consistency principle, S. Hawking chronology protection conjecture.