ГЛАВА XIV

Александр М. Заславский
Корпорация «Облик»;
кафедра темпоральных моделей реальности
Web-Института исследований природы времени
http://www.chronos.msu.ru; am-47@mail.ru

Время как причина физических законов

Совокупность теоретических и методологических предпосылок, определяющих современные физические представления об окружающем нас мире, опирается на идею относительной одновременности множества событий. Физическое пространство рассматривается как вместилище этого множества. В отношении природы времени выдвинуто много разных идей, но все они сходятся в одном – вторичность понятия времени относительно понятия пространства. При этом вопрос о том, как время связано с физическими законами нашего мира, остается открытым. Получив на него ответ, мы смогли бы выразить существо понятия времени через его отношение к экспериментально подтвержденным законам природы. Выдвигается альтернативная гипотеза, согласно которой понятие пространства, его геометрия и законы движения являются вторичными по отношению к понятию времени и могут быть получены с помощью дедукции из линейной (временной) упорядоченности событий. Одной из наиболее важных черт нового подхода является стремление создать такую модель мироздания, которая включала бы в качестве своей подсистемы собственного (внутреннего) наблюдателя, чье сознание обладает способностью постижения физических законов пространства-времени без получения информации извне. Этот подход преследует двойную цель – понять причину самих законов и построить модель сознания, способного их познавать.

Ключевые слова: *система, время, пространство, состояние, необратимость, наблюдатель, взаимодействие, информация, функционал, поле.*

1. Введение

Во всех известных космологических моделях пространство рассматривается как вместилище *одновременных* состояний множества объектов нашего мира (*гипотеза одновременности*). Это предположение (строго говоря, недоказуемое) лежит в основе как физических, так и фило-

софских воззрений на природу мироздания. Но так ли оно бесспорно? Неужели отсутствуют какие-либо основания для альтернативной гипотезы? Рассмотрим некоторые характерные примеры.

Во-первых, известны и хорошо изучены такие математические объекты, как машина Тьюринга, конечный автомат и др., способные моделировать поведение многомерных динамических систем строго упорядоченными во времени процессами.

Во-вторых, экспериментально установлено явление *протемпорального* порога восприятия (Fraser, 1972), состоящее в том, что для человека с его органами чувств периоды длительностью 20–50 мс и менее могут вмещать события, которые поддаются счету, но их невозможно расположить в каком-то временном порядке. Это значит, что линейно упорядоченная цепь событий (строгий порядок) интерпретируется человеческой психикой как последовательность *одновременно* существующих состояний (нестрогий порядок), и мы не можем, опираясь на наше восприятие, утверждать что-либо о действительном временном порядке событий.

Давайте проведем несложный мысленный эксперимент. Допустим, в нашем распоряжении имеется два компьютера, соединенных информационным каналом связи, по которому данные передаются последовательно во времени. Такой канал связи обычно называют последовательным интерфейсом. Пусть в первом компьютере выполняется программа вычисления n функций трех переменных. При этом по какому-нибудь алгоритму (например, с помощью генератора случайных чисел) изменяются аргументы вычисляемых функций. Информация о значениях аргументов и соответствующих значениях функций передается во второй компьютер блоками, в каждом из которых k функций и их аргументов. Здесь функции запоминаются вместе с аргументами и метками времени, соответствующими последним принятым данным. Можно также предположить, что второй компьютер выполняет некоторые специфические действия при получении некоторых значений функций в зависимости от значений их аргументов. Иными словами, второй компьютер ведет себя подобно наблюдателю в трехмерном пространстве. Однако где же здесь одновременность? Как известно, программы в обычных (не параллельных) компьютерах выполняются строго последовательно. Значения функций и соответствующих им аргументов также передаются последовательно. Обращение к памяти также последовательная операция. Для того чтобы исключить последние сомнения, достаточно предположить, что оба компьютера взаимно синхронизированы во времени.

В этом примере наблюдатель (второй компьютер) получает значения *3k* аргументов и соответствующих им *k* функций не в одно и то же время, но с одной меткой времени. Следовательно, при обращении к памяти он не имеет возможности различить действительный порядок их возникновения, хотя ему известно количество поступивших данных. Для него *3k* координат и *k* соответствующих им функций появились как бы в один момент времени. Вот здесь у нашего наблюдателя и возникает потребность в идее пространства как вместилища одновременных состояний наблюдаемой им системы.

Модель, описанная в этом мысленном эксперименте, не претендует на математическую строгость. Ее назначение состоит лишь в том, чтобы продемонстрировать возможность альтернативы гипотезе одновременности. Но поскольку такая альтернатива допустима, а одновременность в строгом смысле недоказуема, то основания для исследования альтернативной гипотезы имеются. Согласно ей все состояния системы «наш мир» *неодновременны* и, следовательно, упорядочены строго (линейно). Отношение временного порядка при таком подходе остается единственным предположением в исходном определении системы. Основная идея гипотезы *неодновременности* состоит в том, что единой (если не единственной) причиной физических законов является Время, проявляющее себя в линейной упорядоченности состояний системы «наш Мир». Ставится задача исследования путей дедуктивного вывода основных физических принципов как следствий гипотезы неодновременности.

2. Постановка задачи

Абстрактная система в виде математического отношения состояний на линейно упорядоченном множестве событий в работе А. Заславского (2002) получила название *системы времени*. Для того чтобы построить теорию, в которой само

понятие пространства, а также его геометрия и законы движения являются логическими следствиями линейной (временной) упорядоченности некоторого абстрактного множества событий, необходимо рассмотреть космологическую модель мироздания как бы из *вне-пространства*, лишенную любых внешних форм и свойств (за исключением упорядоченности во времени). При этом необходимо сконструировать *внутреннего наблюдателя* в виде абстрактной системы, определенной на линейно упорядоченном множестве. В отношении этого наблюдателя, собственно, и ставится задача: *может ли он, анализируя последовательность состояний в цепи событий, «открыть» законы движения, аналогичные тем, которые известны в физике.*

Одной из наиболее универсальных математических моделей, игнорирующей любые внешние формы проявления моделируемого объекта за исключением последовательности его внутренних состояний, является *абстрактный автомат*. Так обычно называют систему, которая, будучи в момент времени τ в состоянии z и получив входное воздействие x, оказывается в момент времени $\tau+1$ в состоянии $\lambda(z,x)$ и генерирует на выходе сигнал $\delta(z,x)$ (Калман и соавт., 1971; Джордж, 1984; Брауэр, 1987, и др.).

Исследуемую модель представим в виде взаимосвязанной системы абстрактных автоматов, включающей «наблюдателя» и взаимодействующую с ним «среду». Автомат-наблюдатель взаимодействует с внешней средой посредством сигналов, передаваемых бесконечной лентой, движущейся в одном направлении и одним своим концом входящей в «среду», а другим выходящей из нее. Конечно же, лента здесь является лишь удобной метафорой времени и причинно-следственных отношений в исследуемой модели. Объектами наблюдения в рассматриваемой модели являются *подсистемы* времени. Обозначим количество подсистем в системе времени m. Событие будем обозначать переменной $q_i^k(\tau)$, принимающей в каждый момент времени τ одно из l различных значений $q_1^k, q_1^k, \ldots, q_l^k$, соответствующих l возможным состояниям k-й подсистемы. Число l будем называть *размерностью* подсистемы. Событие $q_i^k(\tau)$ состоит в том, что в момент времени τ *одна* из подсистем (k-я), находясь в i-м состоянии, воздействует на вход наблюдателя. Состояние входа переходной функцией, учитывающей предысторию, отображается в его внутреннее состояние $z(\tau+1)=f(H(\tau),x(\tau))$, где H – предыстория. Внутреннее состоя-ние z в автомате с памятью будем считать вектором, компонентам которого соответствуют разные сегменты памяти. Внутреннее состояние автомата отображается выходной функцией в последующее состояние $j(\tau+1)$ r-й подсистемы системы времени, т. е. наблюдатель воздействует на r-ю подсистему (происходит событие $q_j^r(\tau+1)$). Таким образом, возникает цепь причинно связанных событий $...,q_i^k(\tau),q_j^r(\tau+1),...$

Необратимость времени проявляется в том, что цепь событий в каждый момент времени $\{1,2,3,...\}$ *увеличивается* на одно событие. В разные моменты времени система может оказываться в одних и тех же состояниях. В общем случае цепь событий состоит из повторяющихся состояний.

3. От времени к пространству

И даже величина самого пространства может стать умопостигаемой, только если мы отнесем ее к мере как единице и выразим ее числом, которое само есть множество, отчетливо познаваемое с помощью счета, т. е. последовательным прибавлением одной единицы к другой в данное время.

Кант И.

3.1. Принцип измерения состояний

Внешний наблюдатель нашей модели «видит» последовательность символов на ленте. Эти символы для него что-то означают вследствие того, что их можно сравнить с чем-то из *внешнего* мира. Если на ленте отмечены величины состояний исследуемой системы, то внешнее измерение предполагает знание их меры. Однако эта мера неизвестна внутреннему наблюдателю. Тем не менее будем считать что наблюдатель как-то различает состояния (так, например, мы различаем запахи, цвета и т. п., не обладая их относительной мерой). Следовательно, необходим такой принцип отображения автоматом-наблюдателем изменений, происходящих на ленте, который не требует от него знания меры

состояний, а требует лишь способности их различения. Подобный принцип был предложен в работе А. Заславского (2002). Его идея состоит в том, чтобы использовать в качестве универсальной (как для внутреннего, так и для внешнего наблюдателя) меры изменения состояний количество их повторений на конечном отрезке цепи событий.

Пусть система времени при переходе от события $q_\alpha(\tau)$ (состоящего в том, что в момент времени τ она находится в состоянии α) к событию $q\,(\tau+\Delta\tau)$ оказывается ΔN_i раз в i-м состоянии. Этот процесс можно рассматривать как повторение i-го состояния ΔN_i раз или как изменение i-го состояния на ΔN_i дискретных единиц «*последовательным прибавлением одной единицы к другой в данное время*». Таким образом, на отрезке времени $[\tau,(\tau+\Delta\tau)]$ цепь событий характеризуется распределением приращений состояний $\{\Delta N_1,\Delta N_2,...,\Delta N_i,...,\Delta N_n\}$, *где, в силу необратимости цепи событий, каждое приращение* $\Delta N_i \geq 0$.

Пусть в составе системы имеется автомат (обозначим его индексом rk) такой конструкции. что относительно малые изменения вектора его состояния $(\Delta z_1^{rk},\Delta z_2^{rk},...,\Delta z_i^{rk},...\Delta z_n^{rk})$ линейны относительно малых приращений количеств повторяющихся состояний k-й подсистемы и некоторой произвольной r-й подсистемы

$$\Delta z_i^{rk} = \Delta z_i^{rk}(\tau+\Delta\tau) - \Delta z_i^{rk}(\tau) = \sum_j \Delta\alpha_{ij}^k \Delta N_j^k - \gamma_i^r \Delta N_i^r,$$

где в общем случае $\Delta\alpha_{ij}^k$ и γ_i^r зависят от времени и от предыстории распределения состояний в цепи событий.

Подобный автомат, ведущий счет повторяющихся состояний, будем называть *внутренним (линейным) наблюдателем*, k-ю подсистему – *объектом наблюдения*, r-ю подсистему – *объектом начала отсчета*, а уравнение (3.1) – *основным уравнением состояния наблюдателя.*

В качестве примера рассмотрим упрощенную модель системы, подобную той, которая описана в известном мифе о пещере у Платона. Пусть единственным источником информации для «обитателя пещеры» – внутреннего наблюдателя будет экран, на котором выделены две области. Обозначим их K и R. Каждая из этих областей экрана может быть освещена или оставаться затемненной, отображая состояния соответствующих подсистем k и r (рис. 1).

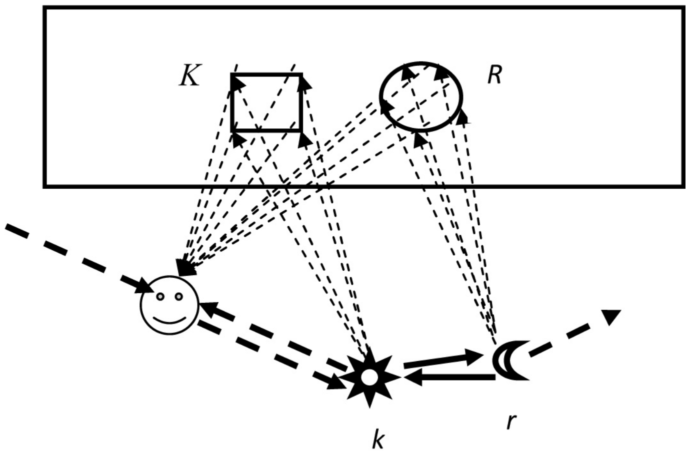

Рис. 1. Проецирование состояний наблюдаемых подсистем в сознание «обитателя пещеры»

Предполагается, что наблюдатель умеет отличить освещенный экран от затемненного. В остальном он не знает, что собой в действительности представляют подсистемы, управляющие освещением экрана. Не различает более двух уровней освещённости (рассматриваем двумерный случай). Не представляет себе, как расположены в «нашем» пространстве и что собой являют «для нас» воздействующие на него области экрана. Не знает «истинных» причин происходящего в пещере. В общем, почти все, как у Платона. Тем не менее предполагаем, что все подсистемы – «обитатели пещеры» причинно взаимосвязаны так, что любое состояние каждой из них является следствием других, предшествующих состояний.

В связи с этим и в соответствии с гипотезой неодновременности в каждый момент времени наблюдатель взаимодействует только с одной из подсистем, получая информацию о состоянии (освещена или нет) только одной из наблюдаемых им областей экрана (рис. 2).

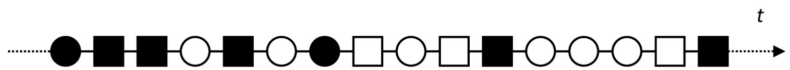

Рис. 2. Пример последовательности состояний подсистем, зафиксированных наблюдателем в моменты считывания информации с экрана

Для того чтобы иметь возможность аналитического исследования закономерностей того мира (виртуального, с нашей точки зрения), в котором осознает себя «обитатель пещеры», нам потребуется дополнить модель Платона некоторыми предположениями о конструкции сознания наблюдателя. Будем считать, что он обладает памятью, которая образована двумя подмножествами бинарных (триггерных) ячеек, пронумерованных от $-Z_1$ до $+Z_1$ и от $-Z_2$ до $+Z_2$ соответственно, где Z_1 и Z_2 – некоторые (в пределе бесконечные) числа натурального ряда. Пусть в области памяти, помеченной индексом 1, фиксируются изменения количества освещенных состояний области K относительно освещенных состояний области R, а в области памяти, помеченной индексом 2 – относительное количество затемненных состояний. Допустим, в начальный момент времени t_0 в каждой из областей памяти наблюдателя активирована одна ячейка $-Z_1 \le z_1^{rk}(t_0) \le +Z_1$ и $-Z_2 \le z_2^{rk}(t_0) \le Z_2$. Для того чтобы сравнить между собой частоты повторений состояний подсистем наблюдатель может использовать следующую (линейную) тактику. Если количество повторений событий, при которых наблюдатель обнаружит область экрана K освещенной, превысит некоторый порог $\Delta N_1^k > \dfrac{1}{\alpha_{11}}$ или количество повторений событий, при которых наблюдатель обнаружит область экрана K затемненной, превысит некоторый иной порог $\Delta N_2^k > \dfrac{1}{\alpha_{12}}$, номер активированной ячейки в первой области памяти увеличивается на единицу.

$$z_1^{rk}(t) = z_1^{rk}(t_0) + 1.$$

Аналогичные изменения происходят и во второй области памяти

$$(\Delta N_1^k > \frac{1}{\alpha_{11}} \text{ или } \Delta N_2^k > \frac{1}{\alpha_{12}}) \Rightarrow (z_2^{rk}(t) = z_2^{rk}(t_0) + 1).$$

Если же количество повторений событий, при которых наблюдатель обнаружит область экрана R освещенной, превысит некоторый порог $\Delta N_1^k > \dfrac{1}{\gamma_1}$, то номер активированной ячейки в первой области памяти уменьшается на единицу:

$$z_1^{kr}(t) = z_1^{kr}(t_0) - 1.$$

А если количество повторений событий, при которых наблюдатель обнаружит область экрана R затемненной, превысит некоторый порог $\Delta N_2^k > \frac{1}{\gamma_2}$, то номер активированной ячейки во второй области памяти уменьшается на единицу.

$$z_2^{kr}(t) = z_2^{kr}(t_0) - 1.$$

После очередного изменения состояния наблюдателя $z_i^{kr}, i \in \{1,2\}$ счет повторений соответствующих состояний наблюдаемых подсистем каждый раз возобновляется с нуля.

Такая тактика позволяет «обитателю пещеры» сравнивать частоты повторения состояний наблюдаемых подсистем, и если у него имеется возможность, то управлять ими, препятствуя увеличению количества нежелательных ему состояний и стимулируя полезные.

Предполагаем, что прототемпоральный уровень восприятия «обитателя пещеры» ограничен таким промежутком времени, на котором $\Delta N_i^k >> \frac{1}{\alpha_{ij}}, \Delta N_i^r >> \frac{1}{\gamma_i}$. При этом на любом промежутке времени, достаточном для различения последовательности событий (превышающем прототемпоральный уровень), выполняется основное уравнение состояния наблюдателя (3.1) с тем большей точностью, чем больше плотность цепи событий.

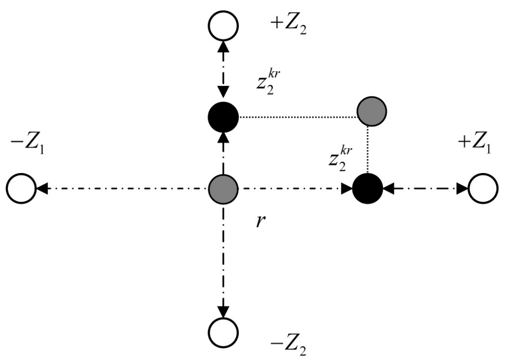

Рис. 3. Граф переходов состояний «обитателю пещеры» при отображении относительного состояния наблюдаемых подсистем в пространстве (активированные ячейки памяти отмечены черным цветом, соответствующие точки, указывающие относительное положение подсистем в пространстве, – серым цветом)

В данном примере два числа, указывающие номера активированных ячеек в соответствующих областях памяти наблюдателя, воспринимаются им как координаты точки – подсистемы k, наблюдаемой относительно подсистемы – объекта начала отсчета r в двумерном пространстве (рис. 3).

Не составляет труда обобщить этот пример на случай большего числа измерений. Достаточно дать возможность «обитателю пещеры» различать более чем два уровня освещенности наблюдаемых им областей экрана. Для увеличения количества наблюдаемых подсистем необходимо увеличить количество соответствующих областей памяти наблюдателя.

3.2. Пространство событий

Для того чтобы отобразить относительное изменение $(\Delta N_1, \ldots, \Delta N_i, \ldots, \Delta N_n)$ вектора состояния наблюдаемой подсистемы в пространстве внешнего наблюдателя, достаточно указать систему координат и поставить в соответствие минимальному изменению его i-й компоненты (ΔN_i=1) универсальную постоянную – квант расстояния Δx_0. Чтобы отобразить дискретное время подобно пространственной координате на числовой оси, достаточно поставить в соответствие минимальному изменению ($\Delta\tau$=1) количества событий универсальную постоянную – квант времени $\Delta t_0 = \Delta x_0/c$, где c – отношение масштабов пространства и времени. Идея пространства в системе времени, где все события неодновременны и строго упорядочены, возникает вследствие ограниченной возможности наблюдателя различать их порядок следования на малых промежутках времени. В пределах *прототемпорального промежутка* состояния как бы присутствуют одновременно. Учитывая результаты исследования явления подмены частот, полученные Найквистом (Nyquist, 1924), можно предположить, что любой наблюдатель, анализирующий квантованные во времени выборки, ограничен прототемпоральным уровнем восприятия времени. В той модели, которую мы рассматриваем, имеется единственная возможность для внутреннего наблюдателя – измерять длительность интервалов времени количеством событий. Но как выполнить эту операцию в условиях кажущейся одновременности событий? Ответ на этот вопрос содержится в гипотезе неодновременности. Действительно, согласно ей *все события в системе времени линейно упорядочены*. Вследствие этого для любого отрезка цепи событий k-й подсистемы выполняется *условие эргодичности – равенство суммы всех состояний количеству событий (моментов собственного времени)*

$$\Delta\tau^k = \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^k. \tag{3.2}$$

Следовательно, для измерения длительности промежутка времени между двумя фиксированными событиями достаточно просуммировать все те состояния, в которых оказывается подсистема на этом промежутке. Для выполнения такого суммирования не требуется знать порядок следования состояний в цепи событий.

В задачах, связанных с измерением относительных движений тел в доступном нашему наблюдению физическом пространстве, для измерения собственного времени наблюдателя используют часы, покоящиеся относительно тела отсчета. В нашей модели математическим эквивалентом такого тела является подсистема – *объект начала отсчета*. Значит, собственное время, отсчитываемое «правильными» часами, покоящимися относительно наблюдателя, пропорционально количеству всех состояний подсистемы – объекта начала отсчета

$$\Delta t^r = \sum_{i} \Delta N_i^r \Delta t_0. \tag{3.3}$$

Аналогично, *собственное время* наблюдаемой подсистемы пропорционально количеству всех ее состояний

$$\Delta t^k = \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^k \Delta t_0. \tag{3.4}$$

Здесь со всей очевидностью возникает вопрос, каким эквивалентом следует руководствоваться при сравнении промежутков времени разных наблюдателей. Для ответа на него вспомним, что промежуток времени всегда ограничен начальным и конечным событиями. Когда различные наблюдатели «хотят» сравнить свои часы, они должны измерить промежуток времени, ограниченный одними и теми же событиями.

Цепь событий системы времени по определению дискретна. Однако в предельном случае при большой плотности событий замена дискретной последовательности состояний на непрерывную не вносит существенной погрешности в математическое описание эволюции системы. Такую цепь событий будем называть *псевдоконтинуальной*.

Внешний наблюдатель имеет возможность отобразить вектор изменения состояния наблюдаемой подсистемы в своем или подобном ему пространстве. Масштаб такого построения определен величиной кванта расстояния Δx_0. Пространство внутреннего наблюдателя, определенное на множестве его состояний z, также квантовано. Но согласно основному уравнению состояния наблюдателя количество квантов его состояний в общем случае не равно количеству квантов цепи событий наблюдаемой подсистемы. Однако можно указать такую цепь событий, протяженность которой одинакова как для внешнего, так и для внутреннего наблюдателя. Это цепь событий объекта начала отсчета. Действительно, собственное время внутреннего наблюдателя, измеренное как им самим, так и внешним наблюдателем, равно $\Delta t^r = \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r \Delta t_0$. Умножив это время на масштабный множитель c, получим протяженность цепи событий одинаковую как для внешнего, так и для внутреннего наблюдателя $c\Delta t^r = \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r \Delta x_0$.

По определению внутреннего линейного наблюдателя приращение i-й компоненты Δz_i^{rk} его вектора состояния является разностью $\Delta z_i^{rk} = \Delta z_i^k - \Delta z_i^r$, где величина $\Delta z_i^r = \gamma_i^r \Delta N_i^r$ представляет собой изменение i-й компоненты вектора состояния внутреннего наблюдателя, обусловленное эволюцией объекта начала отсчета. Следовательно, разделив отрезок цепи событий объекта начала отсчёта на Δz_i^r равных частей, получим расстояние $\sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r \Delta x_0 \big/ \gamma_i^r \Delta N_i^r$ во внутреннем пространстве, соответствующее в среднем изменению i-й компоненты вектора состояния внутреннего наблюдателя на единицу. Откладывая это расстояние вдоль i-й координатной оси внутреннего пространства Δz_i^{rk} раз, получим отображение приращения Δx_i^{rk} i-й координаты k-й подсистемы относительно r-го объекта начала отсчёта в таких же единицах, в которых измеряется отрезок пространства-времени $c\Delta t^r$.

$$\Delta x_i^{rk} = \Delta z_i^{rk} \frac{\sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r}{\gamma_i^r \Delta N_i^r} \Delta x_0 = \lambda_i^r \Delta x_0 \Delta z_i^{rk}. \quad (3.5)$$

Умножив правую и левую части уравнения состояния наблюдателя (3.1) на величину $\lambda_i^r \Delta x_0$, получим

$$\Delta x_i^{rk} = \lambda_i^r \sum_{i=1}^{l} \alpha_{ij}^k \Delta N_i^k \Delta x_0 - \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r \Delta x_0. \quad (3.6)$$

Обозначим $\Delta X_j^k = \Delta N_j^k \Delta x_0$ отображение в пространстве состояний внешнего наблюдателя абсолютного приращения j-го состояния k-й подсистемы. Учитывая (3.2)–(3.4) и постоянство отношения кванта расстояния к кванту времени, второе слагаемое в правой части (3.6) может быть приведено к виду $c\Delta t^r = \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r \Delta x_0$. Перенося это слагаемое в левую часть, получим

$$\Delta x_i^{rk} + c\Delta t^r = \lambda_i^r \sum_j \alpha_{ij}^k \Delta X_j^k. \quad (3.7)$$

Выразим из этих уравнений в явном виде абсолютные приращения состояний наблюдаемой подсистемы

$$\Delta X_i^k = \sum_{j=1}^{l} \alpha_{ij}^{rk} \Delta x_j^{rk} + \alpha_{i0}^{rk} c\Delta t^r.$$

Просуммируем правые и левые части этих равенств по всем индексам состояний

$$\sum_{i=1}^{l} \Delta X_i^k = c \sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^k \Delta t_0 = c\Delta t^k = \sum_{j=1}^{l} a_0^{rk} \Delta x_j^{rk} + a_{00}^{rk} c\Delta t^r,$$

где $a_{0j}^{rk} = \sum_{i=1}^{l} a_{ij}^{rk}, a_{00}^{rk} = \sum_{i=1}^{l} a_{i0}^{rk}$.

Допуская псевдоконтинуальность цепи событий, можно в пределе перейти от конечных разностей к дифференциалам.

$$dX_i^k = \sum_{j=1}^{l} a_{ij}^{rk} dx_j^{rk} + a_{i0}^{rk} cdt^r,$$

$$cdt^k = \sum_{j=1}^{l} a_{0j}^{rk} dx_j^{rk} + a_{00}^{rk} cdt^r.$$

Рассматривая формально пространство событий системы времени как $(l+1)$-мерное многообразие (l пространственных измерений и одно временное), запишем эти уравнения в виде:

$$dX_i^k = \sum_{j=0}^{l} a_{ij}^{rk} dx_j^{rk}, i = \overline{0,l}, \quad (3.8)$$

где обозначено: $dx_0^{rk} = cdt^r, dX_0^k = cdt^k$.

Пусть имеются две системы отсчета: одна – связанная с r-й подсистемой, а вторая – с u-й. Записывая уравнения (3.8) в матричной форме для указанных объектов начала отсчета, получим:

$$dX_i^k = A^{rk} dx^{rk} = A^{uk} dx^{uk},$$

где обозначено: $A^{rk} = \|a_{ij}^{rk}\|, A^{uk} = \|a_{ij}^{uk}\|, dx^{rk} = \|dx_j^{rk}\|, dx^{uk} = \|dx_j^{uk}\|$, индексы i, j пробегают значения от 0 до l. Из этой системы уравнений, линейных относительно малых приращений состояний и времени, найдём

$$dx^{uk} = (A^{uk})^{-1} A^{rk} dx^{rk} = B^{urk} dx^{rk}, \quad (3.9)$$

где $B^{urk} = \|b_{ij}^{urk}\|$.

Коэффициенты преобразований b_{ij}^{urk} могут быть определены лишь с помощью дополнительных величин – инвариантов преобразований. Такими инвариантами, например, определяющими группу преобразований Лоренца в специальной теории относительности, являются предельная скорость изменения состояний и квадратичная форма специального вида, получившая в теории относительности название «интервал в пространстве событий». Инвариантность предельной скорости постулируется в физике на основании обобщения известных экспериментов по измерению скорости распространения в пустоте электромагнитных волн. Инвариантность интервала обычно получают в виде следствия допущения об однородности и изотропности физического пространства и времени. Совершенно очевидно, что в отношении абстрактной динамической системы подобное обоснование неприемлемо. У нас нет оснований для веры в универсальность этих принципов по отношению к системам, чья эволюция не осуществляется в физическом пространстве. В нашем случае инварианты преобразований систем отсчета должны отражать лишь те свойства системы времени, которые обусловлены линейной упорядоченностью ее состояний и конструкцией автомата-наблюдателя.

Одним из таких свойств системы времени является положительное приращение количеств повторяющихся состояний ее подсистем $\Delta N_i^k \geq 0$, соответствующее направлению «стрелы времени». Действительно, ситуация, когда с течением времени количество событий в системе убывает, представляется малоправдоподобной. Сравнивая между собой две квадратичные формы – квадрат суммы положительных приращений с одной стороны и сумму их квадратов с другой, получим следующее очевидное инвариантное неравенство, известное как неравенство треугольника

$$\left(\sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^k\right)^2 - \sum_{i=1}^{l} (\Delta N_i^k)^2 \geq 0. \tag{3.10}$$

Умножив это неравенство на $c^2 \Delta t_0^2$, с учетом принятых выше обозначений получим

$$(\Delta s^k)^2 = c^2 (\Delta t^k)^2 - \sum_{i=1}^{l} (\Delta X_i^k)^2 \geq 0, \tag{3.11}$$

где Δs^k обозначен интервал в пространстве событий системы времени. *Так как величины Δt^k и Δx^k_i характеризующие движение подсистемы относительно внешнего наблюдателя, не зависят от выбора объекта начала отсчета внутренним наблюдателем, они и определяемый ими интервал Δs^k являются инвариантами преобразований систем отсчета внутреннего наблюдателя.* Переходя в (3.11) к дифференциалам и подставляя значения переменных согласно формулам (3.8), выразим интервал Δs^k через приращения координат и времени, измеряемые внутренним наблюдателем

$$(ds^k)^2 = \sum_{\substack{i=0 \\ j=0}}^{l} g_{ij}^{rk} dx_i^{rk} dx_j^{rk},$$

где $\left\|g_{ij}^{rk}\right\| = k_m \left\|a_{ij}^{rk}(x,t)\right\|, \times \left\|a_{ij}^{rk}(x,t)\right\|^T$ – симметрическая матрица, которая может быть отождествлена с метрическим тензором внутреннего пространства событий, k_m – коэффициент, учитывающий соотношение масштабов внутреннего и внешнего пространств.

Осуществляя локальное преобразование (3.9) во внутреннем пространстве событий с помощью матрицы B^{urk}, численно равной матрице A^{rk}, получим для малой окрестности некоторого события (x,t) такую систему координат,

в которой интервал с точки зрения внутреннего наблюдателя выражается такой же квадратичной формой, как и с точки зрения внешнего

$$(ds^k)^2 = (cdt^u)^2 - \sum_{i=0}^{l} (dx_i^{uk})^2 \geq 0.$$

Следовательно, внутреннее пространство событий характеризуется локально псевдоевклидовой метрикой с сигнатурой (+ - - -...), а модуль наибольшей скорости изменения состояний ограничен универсальной постоянной c, не зависящей от выбора системы отсчета. Теория относительности не объясняет причину ограничения скорости распространения сигналов (изменения состояний) в наблюдаемом пространстве. Ею постулируется без объяснения этот феномен как фундаментальное свойство физического пространства-времени. С точки зрения гипотезы неодновременности, как видно из неравенства (3.10), ограничение скорости изменения состояний абстрактной динамической системы обусловлено направлением «стрелы времени» и не может быть преодолено никаким разумным способом. Если бы такое «преодоление» было возможным, то это означало бы, что суммарное количество всех состояний на отрезке цепи событий больше (?), чем количество событий. Иными словами, это означало бы, что система может оказываться в таких состояниях, которые не являются событиями (??), что противоречит общепринятой логической взаимосвязи этих понятий.

3.3. Преобразования Лоренца в пространстве-времени внутреннего наблюдателя

Рассмотрим, какие геометрические законы преобразования пространства-времени может открыть для себя внутренний наблюдатель динамической системы («обитатель пещеры»). Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что, наблюдая k-ю подсистему относительно u-й и r-й подсистем, соответствующие внутренние наблюдатели обнаружат следующие соотношения

$$\Delta x_i^{rk} + c\Delta t^r = \lambda_i^r \sum_j \alpha_{ij}^k \Delta X_j^k, \; \Delta x_i^{uk} + c\Delta t^u = \lambda_i^u \sum_j \alpha_{ij}^k \Delta X_j^k.$$

Отсюда следует очевидное равенство

$$\Delta x_i^{rk} + c\Delta t^r = \lambda(\Delta x_i^{uk} + c\Delta t^u), \tag{3.12}$$

где $\lambda = \frac{\lambda_i^r}{\lambda_i^u}$.

В общем случае, учитывая возможность относительного перемещения подсистем в разных направлениях, результаты наблюдений внутреннего наблюдателя могут быть представлены в виде

$$c\Delta t^r + \Delta x_i^{rk} = \lambda(c\Delta t^u + \Delta x_i^{uk}), \qquad (3.13)$$

$$c\Delta t^r - \Delta x_i^{rk} = \mu(c\Delta t^u - \Delta x_i^{uk}). \qquad (3.14)$$

Выразив коэффициенты λ и μ через новые постоянные

$$a = \frac{\lambda + \mu}{2}, \qquad (3.15)$$

$$b = \frac{\lambda - \mu}{2}, \qquad (3.16)$$

получаем

$$\Delta x_i^{rk} = bc\Delta t^u + a\Delta x_i^{uk},$$

$$c\Delta t^r = ac\Delta t^u - b\Delta x_i^{uk}.$$

Для начала координат системы отсчета, связанной с подсистемой r, все время $\Delta x_i^{rk} = 0$, следовательно, имеем

$$\Delta x_i^{uk} = \frac{bc}{a}\Delta t^u.$$

Обозначая через V_i^{ur} скорость, с которой начало координат системы отсчета r движется относительно u в направлении i-й оси, находим

$$\frac{V_i^{ur}}{c} = \frac{b}{a} = \frac{\lambda - \mu}{\lambda + \mu}, \qquad (3.17)$$

(предполагается такое направление координатных осей, что $V_{j\neq i}^{ur} = 0$).

Перемножив, соответственно, правые и левые части (3.13) и (3.14), получим

$$\left(c\Delta t^r\right)^2 - \left(\Delta x_i^{rk}\right)^2 = \lambda\mu\left[(c\Delta t^u)^2 - (\Delta x_i^{uk})^2\right].$$

Однако, как следует из (3.11), интервал в пространстве событий внутреннего наблюдателя не зависит от выбора подсистемы – объекта начала отсчета. Поэтому

$$\lambda\mu = 1. \qquad (3.18)$$

Решая это уравнение совместно с (3.17), а также учитывая (3.15) и (3.16), найдем значения коэффициентов a и b

$$a = \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{(V_i^{ur})^2}{c^2}}}, \quad b = \sqrt{\frac{(V_i^{ur})^2}{c^2 - (V_i^{ur})^2}}.$$

Следовательно, внутренний наблюдатель абстрактной системы, производя измерения относительных изменений состояний наблюдаемых подсистем, неотвратимо придёт к выводу о том, что они соотносятся между собой так, как этого требуют преобразования Лоренца. А это означает, что специальная теория относительности для внутреннего наблюдателя системы времени, измеряющего состояния количеством их повторений в цепи событий и отображающего результаты измерений точками в многомерном пространстве, является математическим следствием линейной упорядоченности и необратимости событий.

Подставляя в (3.17) значения λ и μ, с учетом (3.12), (3.18) и (3.5) выразим скорость относительного движения подсистем в пространстве «обитателя пещеры» через величины, характеризующие плотности распределения состояний в цепи событий системы

$$\frac{V_i^{ur}}{c} = \frac{\frac{\lambda_i^r}{\lambda_i^u} - \frac{\lambda_i^u}{\lambda_i^r}}{\frac{\lambda_i^r}{\lambda_i^u} + \frac{\lambda_i^u}{\lambda_i^r}} = \frac{\left(p_i^u(t)\right)^2 - \left(p_i^r(t)\right)^2}{\left(p_i^u(t)\right)^2 + \left(p_i^r(t)\right)^2}. \qquad (3.19)$$

В этом выражении величины

$$p_i^r(t) = \frac{1}{\lambda_i^r} = \frac{\gamma_i^r \Delta N_i^r}{\sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^r} \text{ и } p_i^u(t) = \frac{1}{\lambda_i^u} = \frac{\gamma_i^u \Delta N_i^u}{\sum_{i=1}^{l} \Delta N_i^u}$$

представляют собой наблюдаемые (масштабированные) частоты появления i-го состояния в цепях событий соответствующих подсистем.

3.4. Отображение цепи событий динамической системы в пространстве ее внутреннего наблюдателя

Рассмотрим некоторые характерные примеры.

1. Пусть частоты появления состояний в цепях событий сравниваемых подсистем остаются неизменными во времени (равномерная плотность цепи событий). Тогда, как это следует из (3.19), относительные скорости точек, отображающих подсистемы в пространстве внутреннего наблюдателя, также остаются неизменными. В предельных случаях, когда отношение этих частот стремится к нулю или к бесконечности, скорость относительного движения точек стремится к предельной скорости, достижимой в пространстве внутреннего наблюдателя. Заметим также, что скорость относительного движения точек в пространстве «обитателя пещеры» тем меньше, чем менее отличаются частоты появления состояний соответствующих подсистем в их цепях событий. Следовательно, если допустить, что степень различия частот характеризует степень неравновесности системы, то с приближением системы к равновесию относительные скорости точек в пространстве внутреннего наблюдателя убывают, движение затухает. Давайте вообразим, что наблюдаемый нами мир является миром «обитателя пещеры». Относительные скорости большинства окружающих нас объектов не превышают скорость распространения звука в воздухе (примерно 300 м/сек). Следовательно, учитывая предельную скорость относительного движения в нашем мире, равную 300 000 000 м/сек, получаем из (3.19), что различие частот одноименных состояний в цепях событий большинства подсистем проявляется не менее, чем в шестом десятичном знаке после запятой. В том мире, который, возможно, существует за пределами «нашей пещеры», мы представляем собой чрезвычайно близкую к равновесию систему. С точки зрения внешнего наблюдателя, в нашем обыденном мире практически ничего не происходит, все состояния распределены во времени почти равновероятно.

2. Исследуем теперь распределение частот появления состояний подсистем, чье относительное движение «обитатель пещеры» отображает в пространстве как периодическое. Пусть, например, точка, соответствующая подсистеме u, вращается по окружности в двумерном пространстве вокруг точки, соответствующей подсистеме r. Из формулы (3.19) выразим отношения частот состояний через относительные скорости точек в пространстве.

$$v_i = \frac{p_i^u}{p_i^r} = \sqrt{\frac{1+\dfrac{V_i^{ur}}{c}}{1-\dfrac{V_i^{ur}}{c}}}.$$

При скорости вращения $v(t)$, значительно меньшей чем c, её проекции на координатные оси могут быть приближённо представлены в виде $v_1 = V_1^{ur} = V\sin 2\pi\frac{t^r}{T}, v_2 = V_1^{ur} = V\cos 2\pi\frac{t^r}{T}$, где V – модуль скорости вращения, t^r – время, исчисляемое количеством событий (суммы всех состояний) подсистемы r, T – период вращения. Допустим, что модуль скорости наблюдаемого вращения так относится к предельной скорости в мире «обитателя пещеры», как в нашем мире первая космическая скорость относится к скорости света $\frac{V}{c} = \frac{7.9}{300000} = 2.63\times10^{-5}$. В этом случае отношение частот появления состояний подсистем в цепи событий периодически отклоняется от единицы, достигая в максимуме 1,0000263, а в минимуме 0,9999737. Обитателю внешнего по отношению к «нашей пещере» мира было бы затруднительно обнаружить разницу в последовательности состояний таких подсистем (точек), как «Земля» и ее «спутник». С другой стороны, если в близкой к равновесию системе наблюдаются периодические флуктуации частот (вероятностей) состояний, то это означает, что в мире ее внутреннего наблюдателя объекты *вращаются* друг относительно друга так же, как и в наблюдаемом нами мире.

4. Динамические поля системы времени

Как может конкретная реальность превратиться в абстрактную, да еще и математическую? Возможно, это оборотная сторона вопроса о том, как абстрактные математические понятия могут становиться почти ощутимо реальными в мире Платона. Возможно, в каком-то смысле эти два мира на самом деле – один и тот же мир?

Р. Пенроуз. Новый ум короля

4.1. Принцип наиболее вероятной цепи событий

Итак, мы построили модель системы, в которой «обитатель пещеры», наблюдая чередование состояний объектов (подсистем), населяющих его мир, отображает его в своем сознании относительным движением тел в пространстве. Обнаружив, что в ряде случаев движение является неравномерным, он попытается приписать эту неравномерность взаимодействию объектов его мира. Рано или поздно у него возникнет идея измерять силу взаимодействия величиной изменения скорости относительного движения подсистем.

Наш опыт отражения реальности в динамических моделях свидетельствует о существовании универсальных законов взаимодействия, таких, например, как «слабых», «сильных», электромагнитных, гравитационных и пр. *Но можем ли мы с уверенностью утверждать, что сами не являемся «обитателями пещеры»?* У нас могут появиться основания для подобного утверждения лишь в том случае, если будет доказана исключительность нашего мира, его принципиальная несводимость к миру внутреннего наблюдателя абстрактной динамической системы. Однако опыт человечества со времен Джордано Бруно и Коперника свидетельствует о том, что идеи об исключительности доступного наблюдению мира не подтверждаются. Более того, на каком-то этапе исследования обнаруживается, что окружающий наблюдателя мир сам является подсистемой какой-то иной реальности. Следовательно, можно допустить, что «обитатель пещеры», наблюдая чередование состояний объектов, населяющих его мир, может обнаружить закономерности, аналогичные известным нам законам взаимодействия.

Возвращаясь к приведенному выше примеру, мы видим, что взаимодействие подсистем обусловлено скрытыми от внутреннего наблюдателя причинно-следственными связями, порождающими чередование в определенном порядке состояний подсистем в цепи событий. При этом, как видно из (3.19), относительные скорости движения подсистем в пространстве внутреннего наблюдателя инвариантны к порядку следования состояний. Это означает, что одной и той же траектории, определяемой распределением величин ΔN_i, могут соответствовать разные последовательности состояний системы. Не составляет труда определить количество C таких последовательностей для данной траектории, считая величины ΔN_i заданными

$$C(\Delta\tau) = \frac{\Delta\tau!}{\prod_{i=1}^{n}(\Delta N_i!)}. \qquad (4.1)$$

Здесь пока что система рассматривается с точки зрения внешнего наблюдателя, для которого время измеряется количеством всех событий в системе (для внутреннего наблюдателя время измеряется количеством событий в подсистеме, которая выбрана в качестве объекта начала отсчета). Если последовательность состояний в цепи событий интерпретировать как некое сообщение, то логарифм величины C с точностью до масштабного множителя k_I определяет количество информации ΔI в этом сообщении

$$\Delta I(\Delta\tau) = k_I \ln C(\Delta\tau). \qquad (4.2)$$

Вероятность цепи событий представляет собой отношение количества последовательностей состояний, допустимых для данной траектории, к количеству всех возможных последовательностей состояний. Чем больше имеется способов реализации одного и того же относительного движения подсистемы различными последовательностями состояний, тем с большей вероятностью именно это движение будет воспринято наблюдателем. Следовательно, можно поставить задачу найти такие траектории подсистем в пространстве внутреннего наблюдателя, которые максимизируют вероятность соответствующей цепи событий. Однако цепь событий произвольной системы времени в общем случае не является ни наиболее, ни наименее вероятной. Тем не менее всегда можно представить произвольную цепь событий объединением двух цепей, одна из которых является наиболее вероятной. Внутренний наблюдатель будет чаще наблюдать те траектории движения, которые соответствуют наиболее вероятной цепи событий. Та же часть системы, чьи состояния образуют менее вероятную цепь событий, отвечает за относительно редкие случайные отклонения (флуктуации) динамической картины мира внутреннего наблюдателя. Для того чтобы придать *принципу наиболее вероятной цепи событий* математическое содержание, необходимо указать максимизируемый функционал и ограничения, которым должна удовлетворять цепь событий.

4.2. Функционал наиболее вероятной цепи событий

Согласно (4.1) наиболее вероятной цепи событий соответствует наибольшее значение C. Однако непосредственное использование этой величины в качестве максимизируемого интегрального критерия затруднено из-за ее неаддитивности. Напротив, количество информации ΔI удовлетворяет требованию аддитивности. Вследствие монотонности логарифмической функции максимальные значения (4.1) и (4.2) взаимно однозначно соответствуют друг другу. В предельном случае (псевдоконтинуальность) сумму можно заменить интегралом

$$\Delta I = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{dI}{d\theta} d\theta,$$

где $d\theta = \Delta\tau\Delta t_0$ – приращение собственного времени всей системы в целом.

Для того чтобы найти значение производной под знаком интеграла, разделим правую и левую части равенства (4.2) на $\Delta\tau$. Логарифмируя и применив формулу Стирлинга, получим

$$\frac{\Delta I}{\Delta\tau} = k_I\left(\sum_i \frac{\Delta N_i}{\Delta\tau}\ln\Delta\tau - \sum_i \frac{\Delta N_i}{\Delta\tau}\ln\Delta N_i\right) = -k_I\sum_i p_i \ln p_i, \qquad (4.3)$$

где $p_i = \Delta N_i/\Delta\tau$ – вероятность (частота) появления i-го состояния на отрезке цепи событий.

Правая часть (4.3) представляет собой энтропию H сообщения (Шеннон, 1963), получаемого наблюдателем с упомянутой в первой главе «ленты времени». Разделив правую и левую части равенства (4.3) на квант времени Δt_0, получим в пределе

$$\frac{dI}{d\theta} = -\frac{k_I}{\Delta t_0}\sum_i p_i \ln p_i,$$

где $k_I/\Delta t_0$ – постоянная, имеющая размерность бит/сек.

Таким образом, условие наиболее вероятной цепи событий записывается в виде

$$\Delta I = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{H}{\Delta t_0} d\theta = \max.$$

Это же условие при замене знака перед интегралом на противоположный может быть записано в виде, аналогичном принципу наименьшего действия

$$J_f = -\int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{H}{\Delta t_0} d\theta = \min. \qquad (4.4)$$

Однако здесь действие измеряется количеством информации, т. е., согласно классическому определению, логарифмом количества возможных сообщений (цепей событий) при заданном алфавите и распределении символов (состояний). Если данному набору состояний соответствует лишь одна возможная цепь событий, то количество информации в ней равно нулю. Но *дробных количеств цепей событий (равно как и сообщений) быть не может по определению. Наименьшим количеством информации обладает набор состояний, допускающий лишь две возможные цепи событий. Следовательно, количество информации – квантованная величина, обычно измеряемая в битах.* Учитывая, что квант информации равен одному биту (логарифму числа 2), а квант физического действия – величине постоянной Планка h, можно перейти к физической размерности действия, умножив количество информации на константу h.

С точки зрения внешнего наблюдателя, время измеряется количеством всех событий в системе. Так как нас интересует динамика системы, рассматриваемая относительно внутреннего наблюдателя, необходимо в (4.4) перейти к его собственному времени t, измеряемому количеством событий в некоторой r-й подсистеме, выбранной в качестве объекта начала отсчёта. При этом $dt=\Delta\tau^r\Delta t_0$. Произведя замену переменных в (4.4), получим действие J_f относительно внутреннего наблюдателя в физических единицах

$$J_f=-\int_{t_1}^{t_2} H\frac{h}{\Delta t_0}\frac{\Delta\tau}{\Delta\tau^r}dt=\min. \tag{4.5}$$

Величина $\Delta\tau/\Delta\tau^r=\beta$ представляет собой отношение собственного времени системы к собственному времени внутреннего наблюдателя. Вследствие линейной упорядоченности событий (гипотеза неодновременности) имеем: $\Delta\tau=\Sigma\Delta\tau^k$. Поэтому функционал (4.5) можно представить в виде суммы

$$J_f=-\int_{t_1}^{t_2} H\frac{h}{\Delta t_0}\sum_k\beta_k dt.$$

Выразив сумму через средние значения, получим

$$\sum_{k=1}^{N}\beta_k=\frac{N}{\overline{m}c^2}\left(\overline{m}c^2+\left\langle\frac{\overline{m}\vartheta_k^2}{2g_{00}}\right\rangle+\langle E_k\rangle\right),$$

где N – количество подсистем, а m – постоянная, на которую мы умножили и разделили сумму коэффициентов, аналогичная по смыслу средней массе подсистемы

$$\vartheta_k^2=\left(\frac{ds}{dt}\right)^2-\sum\left(\frac{dx_i^k}{dt}\right)^2.$$

В этом выражении величина $\langle E_k\rangle=\left\langle\overline{m}\vartheta_k^2/2g_{00}\right\rangle\langle E_k\rangle=\left\langle\overline{m}\vartheta_k^2/2g_{00}\right\rangle$ соответствует той части средней (кинетической) энергии подсистем в составе наблюдаемой системы, которая обусловлена их относительным движением. Величина $\left\langle\overline{m}\vartheta_k^2/2g_{00}\right\rangle$ соответствует той части средней энергии подсистем, которая обусловлена кривизной пространства событий. Действительно, в плоском пространстве всюду $g_{00}=1$ и $\vartheta_k=0$. По аналогии с молекулярно-кинетической теорией величину средней кинетической энергии будем с точностью до масштабного множителя измерять величиной *температуры* системы

$$\langle E_k\rangle=\frac{l}{2}kT,$$

где l – число степеней свободы подсистемы.

Принимая константу k равной постоянной Больцмана, получим величину температуры в градусах. По аналогии с *кинетической* температурой T можно ввести понятие *гравитационной* температуры T_g такой, что

$$\left\langle\frac{\overline{m}\vartheta_k^2}{2g_{00}}\right\rangle=\frac{l}{2}kT_g.$$

Гравитационная температура служит мерой дополнительной средней энергии относительного движения подсистем, обусловленной кривизной пространства событий. В плоском пространстве она равна нулю.

Рассматривая систему в целом, мы полагаем ее замкнутой. В однородном времени функция Лагранжа замкнутой системы $L=-dJ/dt$ не зависит от времени явно. Отсюда следует существование интеграла движения, называемого энергией системы

$$W=E+\frac{dJ}{dt}=const,$$

где E – квадратичная функция скоростей.

Выше было дано определение действию как произведению количества информации на постоянную Планка. При этом одному биту информации соответствует один квант действия. Следовательно, функцию Лагранжа можно представить в виде

$$L=-\frac{\Delta J}{\Delta t}=-\frac{\Delta Ih}{\Delta t}.$$

Система в целом неподвижна относительно наблюдателя. Энергия покоящейся системы равна Mc^2, где $M=Nm$. Эта энергия не зависит от того, какое количество информации производится в системе. Следовательно, интеграл движения при производстве одного бита информации имеет вид

$$Mc^2=E+\frac{h}{\Delta t'}.$$

Так как E – положительно определенная квадратичная функция, то наибольшее значение отношения $h/\Delta t'$ будет достигаться при $E=0$. Но наибольшему значению этого отношения соответствует наименьшее возможное приращение времени – квант Δt_0. Следовательно,

$$Mc^2=\frac{h}{\Delta t_0}.$$

Обозначив физическую энтропию $k\dfrac{H}{k_l}=S$ и выполнив необходимые подстановки, получим

$$J_f=-\int N\frac{lN}{2}T_g S dt-\int N\left(\frac{lN}{2}T+\frac{Mc^2}{k}\right)Sdt.$$

Нормируя температуру $T\to T-T_0$ таким образом, чтобы ее нуль соответствовал энергии покоя системы $(lN/2)T_0=$ $=Mc^2/k$, упростим выражение функционала

$$J_f=-\int N\frac{lN}{2}\left(T_g+T\right)Sdt. \tag{4.6}$$

Величина lN не зависит от способа декомпозиции системы, так как представляет собой количество ее степеней свободы в целом. Множитель N является неопределенным, так как любую систему можно представлять состоящей из различного количества подсистем, по-разному комбинируя их составные части. Если рассматриваются такие виды взаимодействий, при которых количество подсистем не изменяется, то этим множителем при выводе уравнений поля можно пренебречь. Если же рассматриваются взаимодействия, связанные с процессами синтеза или распада подсистем, то он должен быть учтен при выводе уравнений поля.

4.3. Уравнения движения

Уравнения движения и уравнения *общего поля* могут быть получены варьированием функционала наиболее вероятной цепи событий. Однако при этом *должны быть учтены ограничения, накладываемые закономерностями цепи событий на возможные траектории движения подсистем времени*. Учет ограничений принципиально отличает постулат наиболее вероятной цепи событий от постулата наименьшего действия. Основным следствием гипотезы неодновременности является закономерность (3.7), согласно которой собственное время подсистемы на отрезке цепи, заключенном между двумя фиксированными событиями, пропорционально количеству всех ее состояний

$$cdt^k=\sum_{i=1}^{l}\Delta N_i^k c\Delta t_0=\left(\sum_{j=1}^{l}a_{0j}dx_j^k+a_{00}cdt\right)=ds^k.$$

Интегрируя, получим

$$\int_{t_1}^{t_2}ds^k=\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j=1}^{l}a_{0j}dx_j^k+a_{00}cdt\right). \tag{4.7}$$

Этим уравнением накладывается *первое ограничение* на допустимую траекторию k-той подсистемы. *Второе ограничение* связано с необратимостью времени $t\geq 0$ и имеет вид неравенства

$$\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j=1}^{l}a_{0j}dx_j^k+a_{00}cdt\right)\geq 0. \tag{4.8}$$

Заметим, что, несмотря на кажущуюся тавтологию, второе ограничение не зависит от первого, так как $ds^k=\pm\sqrt{\sum_{\substack{i=0\\j=0}}^{l}g_{ij}dx_i^k dx_j^k}$ может иметь любой знак независимо от траектории k-й подсистемы. Экстремали функционала J_f, полученные без учета ограничений (4.7) и (4.8), не соответствуют истинным траекториям подсистем. Для того чтобы найти истинные траектории, необходимо решить так называемую условно экстремальную задачу $J_f=\min$ с ограничениями (4.7) и (4.8). Как известно, решения подобной задачи должны минимизировать функционал вида

$$J=J_f+\sum_k\left(\lambda_k+\lambda_k'\right)\int_{t_1}^{t_2}\left(\sum_{j=1}^{l}a_{0j}dx_j^k+a_{00}cdt\right)-\sum_k\lambda_k\int_{t_1}^{t_2}ds^k, \tag{4.9}$$

где λ_k, λ'_k – множители Лагранжа, причем $\partial J/\partial\lambda'_k\geq 0$.

Анализ области допустимых значений множителей Лагранжа показывает, что множитель λ_k может принимать только положительные значения. В отношении λ'_k подобные ограничения отсутствуют. Следовательно, он может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Обозначим:

$$\lambda_k=m_k c, \tag{4.10}$$

$$\lambda_k'=-\gamma\frac{e_k}{c}, \tag{4.11}$$

где γ – масштабный коэффициент, учитывающий единицы измерения.

Постоянная m_k аналогична по смыслу *массе* частицы. Сумма множителей Лагранжа

$$\lambda_k + \lambda'_k = -\gamma \frac{q_k}{c} = -\frac{\gamma}{c}\left(-\frac{m_k c^2}{\gamma} + e_k\right) \tag{4.12}$$

с точностью до множителя γ/c аналогична *заряду* частицы q. Подставляя (4.10)–(4.12) в (4.9), получим

$$J = J_f - \sum_k \frac{q_k}{c} \int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{j=1}^{l} \gamma a_{0j} dx_j^k + \gamma a_{00} c dt \right) - \sum_k m_k c \int_{t_1}^{t_2} ds^k. \tag{4.13}$$

Множители Лагранжа в условно экстремальной задаче с ограничениями типа неравенств определяют внутреннюю область допустимых траекторий подсистемы. *Таким образом, величины масс и зарядов непосредственно связаны с граничными условиями, определяющими пространственно-временную область существования системы времени.*

Варьируя траектории в искривленном (в общем случае) пространстве, получим тензорные уравнения движения подсистем в виде, аналогичном известным уравнениям электродинамики

$$m_k c \frac{Du^i}{ds} = \frac{q_k}{c} F^{ij} u^j, \tag{4.14}$$

где u^i – компонента вектора скорости подсистемы; $F^{ij}= =\partial A_j/\partial x^i - \partial A_i/\partial x^j$ – тензор электромагнитного поля; $A_i=\gamma a_{oi}$ – компоненты векторного потенциала; $Du^i/ds = du^i/ds + \Gamma^i_{j\nu} u^j u^\nu$; $\Gamma^i_{j\nu}$ – символы Кристоффеля; i,j,ν – индексы, принимающие независимо друг от друга значения от 0 до l.

Из (4.14) видно, что уравнения относительного движения подсистемы времени аналогичны уравнениям электродинамики в гравитационном поле для частицы массой m_k, несущей заряд q_k. *Однако, в отличие от классической электродинамики, здесь в качестве эквивалента электрического заряда выступает сумма* $-m_k c^2/\gamma + e_k$. Следовательно, электромагнитное взаимодействие подсистем времени можно представить в виде суммы двух взаимодействий. Одно из них порождается *виртуальными зарядами электричества* e_k, а второе – *виртуальными зарядами масс* $-m_k c^2/\gamma$. Общее поле системы, как видно из (4.6), включает также гравитационную составляющую, обусловленную кривизной пространства событий. *Таким образом, с точки зрения гипотезы неодновременности масса играет двоякую роль. С одной стороны, она участвует в межчастичных взаимодействиях, являясь одной из составляющих электрического заряда,*

а с другой – выступает в качестве источника гравитационного взаимодействия, искривляя пространство событий. Следует также отметить еще одну немаловажную деталь. Потенциалы электромагнитного поля системы времени являются линейными функциями элементов матрицы A. *Следовательно, в плоском пространстве, где* $a_{ij}=const$, *тензор электромагнитного поля равен нулю, т. е. поле отсутствует. Поэтому известные уравнения поля, выведенные для плоского пространства, с точки зрения гипотезы неодновременности следует рассматривать как Максвеллов предел* $q_k \to e_k$, $ds_k \to \sqrt{\sum_{i=0}^{l}\left(dx_i^k\right)^2}$, *соответствующий случаю, когда виртуальным зарядом массы и кривизной пространства событий можно пренебречь* $\left|m_k c^2/\gamma\right| << \left|e_k\right|$, $\vartheta_k^2 << v_k^2$. Задача анализа отличий электродинамики системы времени от классической представляет отдельную тему для исследований, выходящих за рамки данной работы. Указывают ли эти отличия на принципиальную несводимость законов нашего мира к следствиям гипотезы неодновременности или, может быть, они просто еще не обнаружены физическими экспериментами?

В заключение данного раздела отметим ту роль, которую играет необратимость времени в явлении электромагнетизма. Действительно, при отсутствии ограничения (4.8), являющегося математическим выражением необратимости, электромагнитный заряд подсистемы q_k становится эквивалентом массы (исчезает множитель Лагранжа λ'_k для всех подсистем). В этом случае электромагнитное взаимодействие вырождается.

4.4. Подход к уравнениям общего поля

Та часть функционала наиболее вероятной цепи событий, которая характеризует действие общего поля J_f, не зависит явно от траекторий отдельных подсистем и поэтому не влияет на уравнения их движения (4.14). Однако она становится необходимой, когда мы хотим найти уравнения самого поля. Для того чтобы решить эту задачу, необходимо выразить действие поля через его потенциалы. Как было показано выше, действие общего поля представляет собой сумму

$$J_f = J_{fg} + J_{fe},$$

где J_{fg} – та часть действия, которая обусловлена кривизной пространства событий, J_{fe} – та часть действия, которая не исчезает в плоском пространстве событий.

Как видно из (4.13), переменными общего поля являются величины a_{0j} $(j=0,1,...,l)$, входящие во второе слагаемое, и компоненты метрического тензора g_{ij}, входящие в третье слагаемое. Сами эти переменные, в свою очередь, могут быть выражены через компоненты a_{ij} матрицы A, отображающей пространство событий внутреннего наблюдателя в пространство событий внешнего.

$$a_{0j} = \sum_i a_{ij}, \tag{4.15}$$

$$[g_{ij}]=A\times A^T. \tag{4.16}$$

В связи с этим матрицу A будем называть матрицей общего поля системы времени, а порождаемые ею величины a_{0j} и g_{ij} – потенциалами общего поля. Заметим, что эти потенциалы являются независимыми переменными, хотя и порождаются общей матрицей. Это видно уже из того, что в системе уравнений (4.15, 4.16) вследствие симметрии $[g_{ij}]$ имеется l^2 независимых уравнений при ранге матрицы A, равном l. Следовательно, задавая произвольно a_{0j} и g_{ij}, получим систему уравнений, из которой можно найти l^2 компонент матрицы общего поля. А это, в свою очередь, свидетельствует о принципиальной возможности существования такого поля. Независимость потенциалов a_{0j} и g_{ij} позволяет, варьируя потенциалы электромагнитного поля, игнорировать слагаемое действия J_{fg}, а варьируя потенциалы гравитационного поля – игнорировать слагаемое действия J_{fe}, что в значительной мере упрощает вывод и окончательный вид уравнений поля.

В классической теории электромагнитного поля (Ландау, Лифшиц, 1988) вид функционала J_{fe} получают путем рассуждений, из которых следует единственно возможное его математическое выражение. Все они, за исключением одного, имеют общематематическое содержание и могут относиться к функционалам любых абстрактных систем. Однако утверждение о том, что электромагнитное поле должно подчиняться *принципу суперпозиции*, основано на эмпирических данных. В дедуктивной теории поля, базирующейся на гипотезе неодновременности, оснований для эмпирических обобщений нет. Тем не менее именно гипотеза неодновременности дает ключ к обоснованию принципа суперпозиции без ссылок на физические эксперименты.

Как было показано А. Заславским (2004), для системы Σ, состоящей из подсистем Σ' и Σ'', матрица общего поля A является суммой $A=A'+A''$. Отсюда следует, что $a_{0j} = a'_{0j} + a''_{0j}$, а это означает, что *электромагнитное поле системы времени подчиняется принципу суперпозиции*. Заметим сразу, что гравитационное поле не подчиняется этому принципу уже в силу определения (4.16) его потенциалов. Вид функционала J_{fg} должен удовлетворять дополнительному условию, согласно которому он тождественно обращается в нуль при нулевой кривизне пространства событий. Это условие выполняется в том случае, если под знаком интеграла стоит скалярная кривизна R пространства событий. Таким образом, функционал общего поля системы времени, выраженный через потенциалы и их производные, может быть получен компиляцией известных в электродинамике и общей теории относительности выражений

$$J_f = -\iint \left(k_g R + k_e F^{ij} F_{ij}\right)\sqrt{-g}\,dV dt, \tag{4.17}$$

где k_g – гравитационная постоянная, k_e – постоянная электромагнитного поля, g – определитель, составленный из величин g_{ij}.

Объединяя функционал общего поля с ограничениями (4.7) и (4.8), получим в окончательном виде функционал наиболее вероятной цепи событий

$$J = -\iint \left(k_g R + k_e F^{ij} F_{ij}\right)\sqrt{-g}\,dV dt - \sum_k \frac{q_k}{c}\int_{t_1}^{t_2} A_j dx_k^j - \sum_k m_k c \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{g_{ij} dx_k^i dx_k^j}, \tag{4.18}$$

$$q_k = -\frac{m_k c}{\gamma} + e_k.$$

Варьируя этот функционал по траекториям, получаем *уравнения движения*; варьируя по потенциалам электромагнитного поля – обобщенные *уравнения Максвелла для электромагнитного поля*; варьируя по потенциалам гравитационного поля – *уравнения Эйнштейна*. Однако этих уравнений недостаточно для полного определения распределения и движения подсистем. Необходимо присоединить к ним ещё уравнения состояния системы времени, связывающие между собой термодинамические переменные. Эти уравнения нельзя получить варьированием функционала

(4.18). И тем не менее можно указать путь их вывода из принципа наиболее вероятной цепи событий. Сравнивая (4.6) с (4.17), получим

$$N\frac{lN}{2}T_g S = \int_V k_g R\sqrt{-g}dV,$$

$$N\frac{lN}{2}TS = \int_V k_e F^{ij}F_{ij}\sqrt{-g}dV.$$

Исключая из этих уравнений энтропию, получим уравнение, связывающее кривизну пространства событий с тензором электромагнитного поля и температурой системы

$$T\int_V k_g R\sqrt{-g}dV = T_g\int_V k_e F^{ij}F_{ij}\sqrt{-g}dV.$$

5. Заключение

Создание теории, объединяющей гравитацию и электромагнетизм – задача физики. Здесь же намечен лишь общесистемный подход к этой проблеме в духе той, еще не получившей общего признания науки, которую называют *темпорологией*. Я далек от мысли, что выведенные соотношения окончательны и не потребуют пересмотра в дальнейшем. Тем не менее показана принципиальная возможность построения абстрактной теории поля и уравнений движения абстрактной системы, исходя из представлений о конструкции необратимо «текущего» времени, а не изначально заданных геометрических свойств пространства, в котором времени отводится всего лишь роль одной из координат. Полученный результат является серьезным аргументом в пользу того, что Время как линейная упорядоченность абстрактных событий является причиной всех физических законов.

Вспомним исходную постановку задачи. Рассматривается абстрактный автомат, взаимодействующий с внешней средой посредством сигналов, передаваемых с помощью бесконечной ленты, движущейся в одном направлении. Конечно же, передача сигналов может осуществляться любым иным способом. Но вот что важно и является самым удивительным, с моей точки зрения. *Это формальное сходство динамических законов и энергетическая независимость внутреннего и внешнего миров.* Хотя мы видели, что внутренний мир «пещеры» так же, как и внешний, характеризуется силовыми полями, энергиями, массами и зарядами подсистем – все эти величины никаким образом не могут быть соотнесены с аналогичными во внешнем мире. Динамика внутреннего мира не зависит от того, какая энергия тратится на «движение ленты», от физико-химических свойств среды и даже от того, движется лента равномерно или нет. И тем не менее *связь между мирами существует, и эта связь информационная.* Динамика внутреннего мира обусловлена распределением состояний в цепи событий (символов на ленте). «Обитатель пещеры», интерпретируя чередование света и тени движением мате-риальных точек, ощущает себя в мире динамических взаимодействий. Следовательно, передавая информацию из внешнего мира, можно влиять на динамические процессы внутреннего, а сами эти процессы создают новую информацию во внешнем мире. Таким образом, между внешним и внутренним мирами может осуществляться целенаправленное (сознательное?) информационное взаимодействие. Какой же из этих миров следует считать реальностью, а какой – абстракцией? Или вслед за Р. Пенроузом предположить, что «*в каком-то смысле эти два мира на самом деле – один и тот же мир?*»

ЛИТЕРАТУРА

Брауэр В. Введение в теорию конечных автоматов. Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.

Джордж Ф. Основы кибернетики. Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1984. 272 с.

Заславский А.М. Метафизика и системный анализ http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/zaslavsky_metafisika/zaslavsky_metafisika.htm. 2002.

Заславский А.М. Гипотеза неодновременности. Подход к проблеме общей теории поля. http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/zaslavsky_gipoteza/zaslavsky_gipoteza.htm. 2004.

Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. Перевод с английского. М.: Мир, 1971. 400 с.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Т. II. Теория поля. М.: Наука, 1988. 512 с.

Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / Пер. с англ. М.: Иностранная литература, 1963. 829 с.

Fraser J.T. The study of time. V. 1. N.Y.: Springer-Verlag, 1972. 479 p.

Nyquist H. Certain Factors Affecting Telegraph Speed. Bell Systems Journal. V. 3. 1924.