

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ, ЕГО ОРГАНИЗАЦИЯ, ИЕРАРХИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНЫХ ВЕЛИЧИН

Г. Е. Михайловский

§1. Организация биологического времени

Говоря о биологическом времени, так же как и о биологическом пространстве, мы всякий раз будем иметь в виду время (или пространство), занимаемое (заполняемое, организуемое, осмысляемое и т.д.) биологической системой (клеткой, организмом, популяцией, экосистемой, биосферой). В этом смысле биологическое время не противостоит времени физическому, подобно тому как биологическая форма движения не противостоит движению физическому, а лишь организует его. Но такая организация наделяет биологическое пространство и время вполне определенными специфическими свойствами.

В архитектуре существует понятие “организация пространства”, означающее заполнение некоторого пустого объема системой стен, перекрытий, лестниц, проходов, дверей и т.п. Все эти архитектурные элементы играют в конечном счете роль барьеров и каналов, превращая кратчайший реальный путь между двумя точками из прямой в ломаную или, в общем случае, в кривую. Примером организованного в этом смысле пространства может служить квартал городской застройки, где реальный путь между расположенными вплотную друг к другу квартирами соседних, но разных зданий будет включать выход на лестничную клетку, спуск на первый этаж, выход на улицу, возможно, огибание всего квартала, вход в подъезд другого здания, подъем на тот же этаж и, наконец, вход в квартиру, отделенную от начальной всего несколькими метрами физического пространства.

Пространство биологических систем в этом смысле очень хорошо организовано, что прослеживается от уровня биомембран и вплоть до сложнейшей организации естественных ландшафтов и всей биосферы в целом. В такой организации проявляется специфика биологического пространства, на которую неоднократно указывал В.И.Вернадский, называя ее “неевклидовостью” (Вернадский, 1965; 1975). Действительно, прямая не отражает реального расстояния между объектами ни в эндоплазматиче-

ческом ретикулуме, ни в кровеносной системе, ни в тропическом лесу или на коралловом рифе.

А как же со временем? Можно ли говорить о его организации, и если да, то обладают ли биологические системы спецификой в этом отношении?

Организация пространства, как мы видели выше, представляет собой прежде всего создание системы барьеров. Для одномерного времени аналогом таких барьеров может служить только необратимость. Но необратимость бывает разная... .

Есть необратимость статистическая, описываемая II законом термодинамики. Здесь все переходы между элементарными состояниями обратимы, и лишь чисто статистически система со временем приходит (при отсутствии воздействий извне) в наиболее вероятное свое состояние. При этом организация времени весьма примитивна: имеется лишь один барьер, который можно уподобить наклонной плоскости. Система способна то опускаться, то подниматься (за счет флуктуаций) по этой плоскости, но в конечном счете она с необходимостью оказывается у подножия, соответствующего состоянию равновесия.

Существует, однако, необратимость совсем иного рода. В физико-химических системах она связана с бифуркационными неустойчивостями в далекой от равновесия области (Волькенштейн, 1975; Пригожин, 1985). Эта необратимость не статистическая, а динамическая и в известном смысле абсолютная. Бифуркационный барьер можно сравнить со стеной, в которой есть отверстие, снабженное клапаном, открывающимся только в одну сторону. Возвращение в исходное состояние если и возможно, то только по петле гистерезиса, т.е. через другой клапан или в обход стены.

В биологических системах такая абсолютная необратимость является по существу универсальной, хотя она далеко не всегда связана именно с бифуркациями. Например, переход от одной стадии митоза и другой не является бифуркационным хотя бы потому, что не предполагает никакого разветвления траекторий, и вместе с тем он необратим, причем не в статистическом, а именно в динамическом смысле, поскольку необратимы переходы между элементарными состояниями, что проявляется в необратимости траекторий отдельных органелл, надмолекулярных комплексов и даже отдельных молекул. При этом если бифуркационные барьеры в динамике той или иной физико-химической системы перемежаются с участками детерминированной, а следовательно, динамически обратимой траектории, в биологических системах динамически необратимые переходы распространены неизмеримо шире. Такие процессы, как метаболизм, размножение, морфогенез, экологическая сукцессия и эво-

люция видов, представляют собой практически непрерывные последовательности подобных переходов.

Это говорит о высочайшей организации биологического времени — ведь каждый такой необратимый переход является барьером, который можно сравнить со стеной с клапаном. Наличие целых пачек (кассет) таких барьеров приводит не только к абсолютной необратимости, но и к канализованности или креодичности (Уоддингтон, 1970) биологических процессов.

Столь высокая степень организации времени является специфическим свойством именно биологических систем. Различия живой и неживой природы в организации пространства носят количественный характер, различия в организации времени — качественные. Ведь живое отличается не только неизмеримо большим числом временных барьеров, значительно важнее, что барьеры эти существенно иные, будучи, с одной стороны, нестатистическими, с другой — небифуркационными. По существу, мы встречаемся здесь с новым, третьим типом необратимости. И если в основе первого типа лежит II закон термодинамики для изолированных систем, а в основе второго — бифуркации вдали от термодинамического равновесия, то какова же природа этого третьего типа, обуславливающего высокую организацию биологического времени? В следующем разделе мы попробуем ответить на этот вопрос.

§2. Структура биологического настоящего и детерминация будущим

Коль скоро, в полном соответствии с “бритвой Оккама”, отбросить гипотезу о существовании некой “жизненной силы” и, следовательно, принять, что в живом организме нет ничего, кроме атомов и сил взаимодействия между ними, мы с неизбежностью приходим к выводу, что среди всего множества микросостояний этого ансамбля атомов есть такие, которые соответствуют живому макросостоянию ансамбля. С другой стороны, исходя из широко известного принципа Реди, утверждающего невозможность абиогенеза (Вернадский, 1940), спонтанное возникновение микросостояний, соответствующих жизни, невозможно в том смысле, что крайне маловероятно.

Однако в живых системах такие микросостояния возникают постоянно в процессах метаболизма, роста и размножения. Отсюда следует, что даже на уровнях “микромир (атомы и молекулы) — мир под микроскопом (клетки)” макросостояние (жизнь) определяет микросостояния, обеспечивающие поддержание жизни, а не наоборот, как это обыкновенно бывает в физике и химии. На более высоких уровнях организации

живого это тем более очевидно и уже неоднократно отмечалось рядом исследователей.

Первым в этом ряду был, пожалуй, эмбриолог Г.Дриш, сформулировавший в начале нашего века свой знаменитый принцип, согласно которому судьба клетки зародыша (т.е. ее дальнейшее развитие, которое положит начало определенной ткани или органу взрослого организма) зависит, во всяком случае на ранних этапах эмбриогенеза, только от положения этой клетки в эмбрионе как целом (Дриш, 1915). В этот же ряд можно поставить и принцип эквифинальности Л. фон Берталанфи (Bertalanffy, 1962), утверждающий, что в развивающихся биологических системах различные, подчас весьма различные, начальные состояния приводят в результате развития к одному и тому же конечному (финальному) состоянию. Подобная эквифинальность, противоположная как бифуркации, так и переходу к термодинамическому равновесию (поскольку финальное состояние не только не равновесно, но, как правило, значительно дальше от равновесия, чем любое из исходных), может быть обеспечена лишь в том случае, когда целое детерминирует поведение своих частей. Без такого рода детерминации трудно себе представить и существование в биологических системах креодов, постулированное К.Х.Уоддингтоном. Креод, по Уоддингтону, представляет собой устойчивую канализованную траекторию развития системы как целого, и только целое может обеспечить устойчивость такой траектории, управляя соответствующим образом аналогичными траекториями своих частей (Уоддингтон, 1970).

Это явление, когда целое определяет поведение своих частей, было выделено нами в качестве одного из отличительных свойств живого и названо омникаузальностью (Михайловский, 1984) в противоположность партикаузальности, т.е. детерминации целого со стороны его частей, характерной для физико-химических систем.

Важнейшим отличием омникаузальных систем от партикаузальных является смена знака энтропии. В партикаузальных системах энтропия, по определению Дж. фон Неймана, равна “количеству (микроскопической) информации, которая теряется при (макроскопическом) описании” (Нейман, 1956). Но в омникаузальных системах макросостояние, как будет показано ниже, информационно богаче любого отдельного микросостояния. Поэтому при переходе с микро- на макроуровень информация не теряется, а приобретает, что и приводит, как было показано ранее (Михайловский, 1981), к отрицательной величине энтропии в таких системах.

Тут напрашиваются сразу два вопроса. Во-первых, каким образом макросостояние молекулярного ансамбля может определять его мик-

росостояние, а во-вторых, за счет чего это макросостояние информационно богаче каждого конкретного микросостояния? Начнем с первого.

Полным описанием любого микросостояния является его функция состояния (Ψ -функция), квадрат модуля которой интерпретируется как плотность вероятности. Она представляет собой результат взаимодействия Ψ -функций отдельных частиц. Поэтому любому весьма специальному микросостоянию, обеспечивающему реализацию маловероятного макросостояния, соответствует весьма специальный вид Ψ -функции. Повысить, причем резко, вероятность такого макросостояния можно лишь путем перенормировки вероятностей как микросостояний, которые в классической теории вообще полагаются равновероятными, так и состояний отдельных частиц (что, в конечном счете, одно и то же).

Таким образом, живое макросостояние биологической системы обеспечивает реализацию соответствующих микросостояний через перенормировку вероятностей, в результате которой круг возможных микросостояний, а следовательно, и макросостояний, резко сужается, причем его мода может сместиться к самому “хвосту” распределения. Подобный эффект может возникнуть в результате мультипликативного взаимодействия исходной (априорной) функции распределения вероятностей всех возможных микросостояний, которые в сложных биологических системах отнюдь неравновероятны, и вероятностного фильтра, посредством которого макросостояние осуществляет омникаузальную детерминацию. Математической моделью здесь может служить формула Бейеса (Налимов, 1980):

$$p(\mu/y) = k p(\mu) p(y/\mu), \quad (2.1)$$

где $p(\mu/y)$ — функция распределения живого состояния ансамбля μ в результате действия вероятностного фильтра, k — константа, необходимая из условий нормировки, $p(\mu)$ — априорная функция распределения ансамбля μ , $p(y/\mu)$ — функция распределения, раскрывающая, какие именно состояния ансамбля μ вероятностный фильтр y выделяет в качестве живых.

Для отдельных частиц (элементов) подобная перенормировка выражается в падении до нуля вероятностей подавляющего числа возможных направлений и скоростей движений.

Такая перенормировка характерна для всех типов омникаузальных систем. Например, коллектив воздействует на индивида, перенормируя вероятности его поведения, устремляя к нулю вероятности одних действий и резко повышая вероятности других. При этом со стороны

коллектива не требуется, как правило, силовых воздействий — индивид просто не может вести себя иначе. Точно так же клетки ведут себя в организме совсем не так, как в культуре клеток или тканей, причем эти отличия не всегда можно объяснить гормональным воздействием организма. Аналогично поведение изолированной от естественной среды популяции (например, популяций домашних животных или растений) резко отличается от ее поведения в природе. Подобные примеры легко продолжить.

Но является ли байесовский подход во всех этих случаях лишь удобной математической моделью, или он отражает сущность процесса перенормировки вероятностей?

Первая альтернатива приводит к необходимости постулировать неизвестные типы взаимодействия в биологических системах, поскольку известные в физике взаимодействия здесь, по-видимому, не подходят. Проблема в этом случае аналогична проблеме скрытых параметров в квантовой механике (Фейнман, 1968; d'Espagnat, 1979). Вторая альтернатива приводит к идее непосредственного взаимодействия Ψ -функции макросостояния (назовем ее Ω -функцией) с Ψ -функцией микросостояния. Понятие Ω -функции имеет содержание лишь тогда, когда эта Ω -функция маркирована в макромире, в противном случае $\Omega \in \Psi$

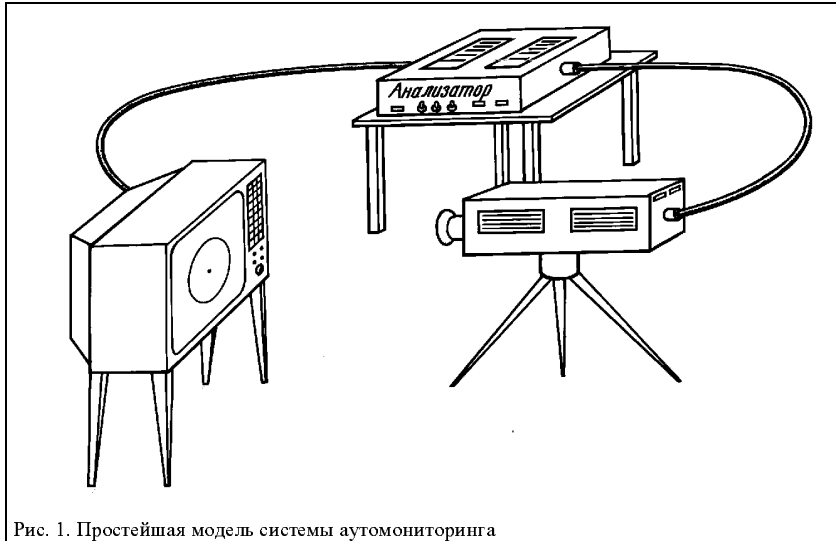


Рис. 1. Простейшая модель системы аутомониторинга

Для иллюстрации последнего утверждения рассмотрим систему из телевизора, видеокамеры, расположенной напротив телевизионного экрана, и анализатора, соединенного на входе с видеокамерой, а на выхо-

де с телевизором. Такого рода устройство (рис.1), называемое “Video feedback” или “ТВ-АНАЛОГОМ”, используется при аналоговом моделировании неравновесных и возбудимых сред (Abraham, 1976; Голубев и др., 1985). Пусть на экране “ТВ-АНАЛОГА” имеется изображение окружности. Из-за наличия шумов светящиеся точки лежат не только на окружности, часть их хаотически разбросана по экрану. Но анализатор способен из сигнала, пришедшего с видеокамеры, выделить окружность в чистом виде (она для него маркирована) и подать ее на вход телевизора. В этой модели реальное, слегка зашумленное, изображение — аналог Ψ -функции, а идеальная окружность, которую вычленяет (“узнает”) анализатор, — аналог Ω -функции. Будучи подана на вход телевизора, эта идеальная окружность произведет перенормировку вероятностей, подрезав шумы микросостояния. В результате на экране телевизора неограниченно долго будет поддерживаться устойчивое изображение окружности, которое без анализатора со временем утонуло бы в шумах.

Собственное макросостояние биологической системы для нее самой является, очевидно, маркированным, и жизнь, коль скоро она существует, поддерживается системой аутомониторинга, грубый прообраз которой был нами только что рассмотрен.

Динамика микросостояний задается уравнением Шредингера для Ψ -функции. Для биологической системы оно, конечно, фантастически сложно и не решается аналитически, но объективно имеет определенный вид и определенные численные решения. Динамика макросостояний должна задаваться уравнением для Ω -функции. Когда вид Ψ -функции не вырожден по каким-либо параметрам, понятие Ω -функции теряет смысл ($\Psi \not\equiv \Omega$ но если он сильно вырожден, в нем можно выделить (хотя, возможно, и неоднозначно) упорядоченный, семантический элемент, который и есть Ω -функция, не тождественная Ψ .

Так, при сплошной облачности небо воспринимается нами просто как шум, который не несет никакого сигнала, кроме разве что предупреждения о возможности дождя. Если же по небу бегут отдельные облака, в их очертаниях можно уловить (хотя и неоднозначно) образы животных, человеческих лиц, архитектурных сооружений и т.п. Если бы мы обладали способностью влиять на форму облаков, мы смогли бы четче выявить угаданный нами и, следовательно, маркированный для нас образ и поддерживать его впоследствии. Возникла бы Ω -система, т.е. система с Ω -функцией.

Динамика Ω -системы описывается системой уравнений для динамики Ψ - и Ω -функций. В примере с облаками и с “ТВ-АНАЛОГОМ”

такая система уравнений дает точечное устойчивое решение. Для биологических систем подобные решения имеют место, но лишь в специфических условиях (цисты, организмы в диапаузе, покоящиеся яйца, семена и т.п.). Все это — системы без времени. Но подавляющее большинство биологических систем — системы метаболизирующие, развивающиеся, размножающиеся, т.е. системы со временем. Время в системе аутомониторинга может появиться лишь при условии, что решением системы Ω - Ψ -уравнений будет устойчивый предельный цикл. В этом случае, возвращаясь к “ТВ-АНАЛОГУ”, семантическим образом, “гештальтом” будет не застывшее изображение, а подобие кинофильма, весь сюжет которого данная биологическая система воспринимает как настоящее. Иными словами, биологическое настоящее обладает определенной временной “толщиной”.

И здесь мы подходим к ответу на второй из поставленных выше вопросов. Ведь, обладая временной “толщиной”, живое макросостояние описывается последовательностью определенных и в определенном порядке сменяющих друг друга микросостояний и потому, естественно, оно информационно богаче любого из них. Кроме того, микросостояния, составляющие биологическое настоящее, неальтернативны. Для реализации живого макросостояния необходима реализация каждого из них в определенной последовательности. Поэтому при исчислении статистического веса такого состояния (логарифм которого, согласно формуле Больцмана, равен с точностью до константы энтропии) мы должны не складывать вероятности альтернативных микросостояний, а перемножать условные вероятности всех микросостояний последовательности, составляющей “толщину” настоящего для живого макросостояния, что приводит к величине статистического веса, меньшей единицы, а следовательно, и к отрицательному значению энтропии (Михайловский, 1980). Для такой существенно отрицательной энтропии Н.И.Кобозевым было предложено название “антиэнтропия” в отличие от негэнтропии, которая обыкновенно трактуется как отрицательное приращение положительной энтропии (Кобозев, 1971). Этой терминологией мы и будем пользоваться в дальнейшем.

Биологическое настоящее может иметь разную для разных систем продолжительность в физическом времени. Для клетки “толщина” настоящего минимальна, для биосферы — максимальна. Но на всех уровнях биологическое (системное) настоящее включает как физическое прошлое, так и физическое будущее, в том числе и прошлое-будущее на уровне микросостояний. При этом физическое настоящее делит биологическое настоящее на память и целенаправленное поведение.

В результате на всех уровнях биологической организации макросостояние живой системы способно детерминировать микросостояния за счет того, что его настоящее включает, помимо физического прошлого и настоящего, еще и физическое будущее, а микросостояния включают лишь настоящее, детерминированное (на микроуровне) ближайшим прошлым. Живое макросостояние перенормирует вероятности микросостояний путем детерминации их физическим будущим, которое для него тоже настоящее.

Хорошей моделью всего процесса омникаузальной детерминации, включая детерминацию будущим, является процесс ходьбы (рис.2). Здесь, в отличие от процессов, протекающих в клетке, мы способны воспринимать (с помощью приборов) и описывать как макросостояния (перемещение тела с помощью ног), так и микросостояния (последовательные сокращения мышечных волокон под действием нервных импульсов).

Причинная цепочка тут явно омникаузальна. Вначале у ребенка на основе примера взрослых возникает сама идея ходьбы. Затем происходит процесс обучения. Он заключается в отборе наиболее удачных вариантов макродвижений, приводящих к перемещению тела на двух ногах и созданию тем самым образа или плана ходьбы, т.е. того, что выше мы сравнивали с сюжетом. Отбор происходит через запоминание оптимальных вариантов. Ошибки же по возможности не повторяются, а потому не закрепляются, забываются и тем самым элиминируются.

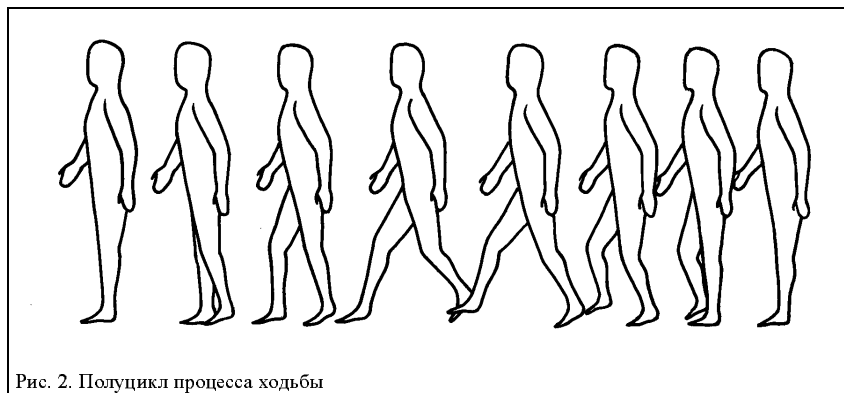


Рис. 2. Полуцикл процесса ходьбы

В результате макросостояние закрепляется как некоторый оптимальный процесс с различными вариантами, соответствующими тем или иным внешним условиям. Этот процесс основан на детерминированной им упорядоченной смене микросостояний: мышечные волокна сокращаются так и в такой последовательности, в какой это необходимо для осуществления цикла ходьбы (последовательного переставления двух ног).

“Толщина” настоящего при этом равна времени, затрачиваемому на один цикл ходьбы.

Для наблюдателя, находящегося на микроуровне такой системы (уровне мышечных волокон), все происходящее вокруг него воспринималось бы как “чудо”: отдельные группы волокон то сокращаются, то расслабляются в определенном ритме, но без всякой связи с происходящими внутри них процессами. Даже если бы такой наблюдатель установил связь сокращений с приходящими нервными импульсами, вся наблюдаемая им картина не стала бы менее удивительной. Постоянно происходящие у него на глазах маловероятные (с его точки зрения, т.е. с точки зрения естественной динамики микросостояний) процессы могут быть реализованы лишь вследствие коренной перенормировки вероятностей.

Такая перенормировка — постоянное вмешательство извне, а именно со стороны макросостояния, имеющего свой сюжет, образ, план, в естественную динамику микросостояний. При этом в такую естественную динамику вносится элемент “чуда”, т.е. несоответствия наблюдаемых на микроуровне процессов II закону термодинамики и непредсказуемости будущего по прошлому. Мерой этого элемента “чуда” служит антиэнтропия (Кобозев, 1971; Михайловский, 1981), а Ω - Ψ -взаимодействия (перенормировка вероятностей) есть механизм возникновения антиэнтропии.

Для нас — наблюдателей на уровне организмов — столь же “чудесной” является удивительная “подгонка” друг к другу популяций в экосистеме или видов в биосфере, обусловленная перенормирующим вероятности воздействием со стороны более высоких уровней биологической иерархии. Подобный процесс лежит в основе всех жизненных проявлений, каждое из которых не может быть полностью понято внутри своего и нижележащих уровней. Причина такой омникаузальности заключается в детерминации жизненных проявлений будущим, которое на следующем уровне иерархии является настоящим. И каждое настоящее на всех ступенях биологической иерархии имеет свою, зачастую необычайно сложную, структуру, которая и организует время в биологических системах.

§3. Двумерность времени биологической системы и иерархия двумерных биологических времен

Любое макросостояние в определенный момент физического времени можно описать в виде некоторой одномерной последовательности значений параметров. При этом (если мы имеем дело с партикаузальными системами) чем больше положительная энтропия, т.е. чем больше число альтернативных микросостояний, реализующих одно и то же макросостояние, тем такая последовательность короче, поскольку она не

может быть длиннее общей (совпадающей) части аналогичных последовательностей для всех альтернативных микросостояний. В идеальном случае полной упорядоченности (и соответственно нулевой энтропии), когда макросостоянию соответствует только одно микросостояние, и их описания, следовательно, совпадают, такая последовательность будет максимально длинной и равной длине последовательности описания микросостояния.

Но для омникаузальных, и в частности биологических, систем такое описание макросостояния недостаточно. Ведь макросостояние в этом случае, как мы убедились выше, представляет собой *упорядоченную* последовательность микросостояний. И для того чтобы его адекватно описать, необходима не одномерная последовательность, а двумерная матрица значений параметров, строки которой являются одномерными описаниями микросостояний, образующих в совокупности настоящее данной системы, а столбцы заключают динамику соответствующего микропараметра за физическое время, составляющее “толщину” этого настоящего. Причем как раз эта принципиальная двумерность описания макросостояния омникаузальных систем и обуславливает необходимость перемножения, а не сложения условных вероятностей всех входящих в матрицу микросостояний, что приводит в результате к величине статистического веса макросостояния меньшей единицы и, следовательно, к отрицательному значению его энтропии.

При этом открывается возможность для альтернативного, точнее, дополнительного истолкования энтропии (С.А.Титов, личное сообщение), опирающегося на понятие контекста, понимаемого не только в лингвистическом, но и в более широком смысле этого слова. Для систем с положительной энтропией каждому макросостоянию соответствует некоторое множество альтернативных микросостояний. В предельном случае нулевой энтропии между макро- и микросостояниями имеется взаимнооднозначное соответствие. Тогда для антиэнтропийных систем можно ожидать соответствия, в некотором смысле, одного микросостояния нескольким макросостояниям. И действительно, в омникаузальных системах, где макросостояние описывается двумерной матрицей значений параметров, одно и то же микросостояние может выступать в разных контекстах, т.е. соответствующая ему строка значений параметров может входить в различные матрицы, приводя соответственно к разным макросостояниям.

Это есть прямое следствие контекстной зависимости событий, которые мы определяем как микросостояния. Для партикаузальных систем, энтропия которых положительна, такие события контекстно независимы, что и обуславливает нулевую временную “толщину” их макросостояний. Напротив, в омникаузальных системах, макросостояния которых

можно сравнить с сюжетом (т.е. с текстом в широком смысле слова), неизбежно возникает явление контекста, а следовательно, и контекстной зависимости событий, составляющих сюжет.

Вполне очевидно, что одни и те же события и даже последовательности событий могут входить в совершенно разные сюжеты. Точно так же и для биологических “сюжетов” одна и та же стадия развития многоклеточного организма, скажем гастрюла, для позвоночных по существу еще предшествует “завязке” сюжета, а для кишечнорастворимых представляет собой уже его “развязку”, т.е. конечную стадию развития; или небольшие степные участки в средней полосе России (например, в Приокско-Террасном заповеднике) представляют собой промежуточную стадию сукцессии, подготавливающую условия для последующего возникновения древостоя, в то время как на юге Украины — это завершающая, климаксовая стадия, т.е. “развязка” сюжета. Соответственно макросостояния (сюжеты) позвоночных и кишечнорастворимых или лесов средней полосы и степей Украины совершенно различны. Но в каждом случае они допускают разбиения как по одному принципу (либо по популяциям, трофическим группам и т.п., либо по клеткам, тканям, органам и т.п.), так и по совершенно другому, а именно — по событиям или стадиям развития.

Таким образом, именно двумерность описания макросостояний омникаузальных систем определяет и контекстную зависимость их микросостояний (событий, составляющих сюжет макросостояния), и отрицательный знак их энтропии, и саму их омникаузальную детерминацию, включая детерминацию будущим, и, наконец, временную “толщину” их настоящего. Именно это последнее свойство омникаузальных, и в частности биологических, систем приводит к необходимости нового, адекватного им способа описания времени. Ведь традиционная физическая трактовка времени в виде одномерной оси для систем, чье настоящее, а следовательно, и макросостояние обладают временной “толщиной” и соответственно неопределимы для интервалов физического времени, меньших этой “толщины”, совершенно неадекватна.

В самом деле, для того чтобы проследить динамику макросостояния омникаузальной системы, мы должны рассматривать ее во времени дискретном (в определенном смысле) по отношению к физическому, во времени, которое может сжиматься или растягиваться по отношению к обычным физическим часам в зависимости от скорости процессов, определяющих развитие “сюжета” макросостояния, во времени, отсчитываемом по часам, чьим маятником будет периодическое воспроизведение самого себя (обычно с некоторыми незначительными отклонениями) протяженным в физическом времени макросостоянием. Отсчитываемое

таким образом время в случае клетки или организма уместно было бы назвать онтогенетическим, что близко к понятию возраста.

Однако динамикой макросостояния описание любой омникаузальной системы отнюдь не исчерпывается. Ведь само макросостояние определяется динамикой микросостояний, т.е. процессами, протекающими совсем в другом времени, времени, в котором упорядочены строки матрицы двумерного описания макросостояния и которое (опять же в случае клетки или организма) можно было бы назвать физиологическим. Это время, отсчитываемое событиями, составляющими “сюжет” настоящего биологической системы, так что сам этот сюжет является его своеобразными часами. На самых нижних уровнях биологической иерархии физиологическое время с хорошим приближением можно считать непрерывным относительно времени физического, но ограниченным “толщиной” биологического настоящего для данного макросостояния и указывающим, по существу, на фазу биологического настоящего. На более высоких этажах иерархии микросостояния (события) сами обладают значительной временной “толщиной”, так что и их собственная динамика разворачивается во времени, дискретном по отношению к физическому.

Надо сказать, что термины “онтогенетическое” или “физиологическое” время относительны, и всегда необходимо указывать системы, для которых мы их в том или ином случае определяем. Кроме того, как уже оговаривалось выше, традиционное биологическое толкование этих терминов имеет место только в случае организма и отчасти клетки (коль скоро можно говорить о ее онтогенезе). Вообще же биологическая иерархия подразумевает и иерархию времени, причем построенную вполне определенным образом. Так, онтогенетическое время клетки можно рассматривать в известном смысле как физиологическое время организма, а его онтогенетическое время может трактоваться как “физиологическое” время популяции, понимаемой в генетическом смысле, “онтогенетическое” время которой обычно называют филогенетическим и т.д. (Михайловский, 1980).

Таким образом, хотя биологическое время в целом предстает как многомерное, для каждой конкретной биологической системы можно ограничиться его двумерным представлением, причем двумерность эта непосредственно вытекает из отмечавшейся выше двумерности описания макросостояния омникаузальных антиэнтропийных систем.

Не следует, однако, думать, что двумерность времени биологической системы сводится лишь к различию шкал физиологического и онтогенетического времен наподобие измерения физического времени в часах и минутах. Ведь для одного и того же значения онтогенетического времени (возраста) течение физиологического времени может под влиянием тех

или иных причин, например стимуляторов или транквилизаторов, ускоряться либо замедляться, а то и совсем останавливаться (при анабиозе, сопровождаемым глубоким охлаждением). С другой стороны, при одном и том же течении физиологического времени может замедляться либо ускоряться течение онтогенетического времени в зависимости от того, насколько следующие друг за другом “сюжеты” биологического настоящего повторяют друг друга либо вносят в это повторение что-то новое. В пределе, когда эти “сюжеты” каждый раз абсолютно тождественны друг другу, онтогенетическое время останавливается: ведь из последовательности тождественных событий нельзя составить никакого сюжета, а онтогенетическое время, напомним, на следующем уровне иерархии является физиологическим и упорядочивает события, составляющие на этом уровне “сюжет” настоящего.

Конечно, такой предельный случай полностью в природе никогда не реализуется, но близкие к нему состояния имеют место, например, у человека в период между примерно 30 и 35 годами, когда организм уже полностью сформировался, а процессы старения еще почти никак себя не проявляют. Все более ярким примером почти полной остановки онтогенетического времени являются популяции реликтовых видов в климаксных экосистемах. “Сюжеты” их макросостояний (поколений), развивающиеся в физиологическом для них (и онтогенетическом для слагающих эти популяции организмов) времени, практически полностью повторяют друг друга, и такие популяции могут сохраняться неизменными тысячи и даже миллионы лет (и такое же по порядку величины число поколений). Их онтогенетическое (т.е. в данном случае филогенетическое) время практически остановилось.

На примере популяций наиболее ярко прослеживается и почти полная независимость процессов, протекающих в онтогенетическом для них времени, от тех, что протекают во времени на их уровне физиологическом. В самом деле, коль скоро не получено массовых свидетельств наследования приобретенных признаков, весь “сюжет” популяционного настоящего (развитие одного поколения) непосредственно никак не влияет на развитие популяции в филогенетическом (онтогенетическом для нее) времени. Аналогичная независимость имеет место и на других уровнях биологической иерархии, но проявляется там не столь явно.

Обратное неверно: процессы, протекающие в онтогенетическом времени, влияют на “сюжет” настоящего, разворачивающийся в физиологическом времени, в чем, собственно, и состоит омникаузальная детерминация, однако такое влияние проявляется в масштабах физического времени, много больших, чем “толщина” настоящего для данной системы. Следовательно, для масштабов времени, соизмеримых с “толщиной”

настоящего, можно говорить о независимости процессов, протекающих в физиологическом и онтогенетическом временах, т.е. отсчитывающих их часов, а значит и о независимости (ортогональности) самих этих времен как компонентов двумерного времени биологической системы. Остается только решить вопрос о способе представления такого двумерного времени с его ортогональными компонентами.

§4. Представление двумерного биологического времени с помощью комплексных величин

Из сказанного выше вытекает, что момент двумерного биологического времени можно сопоставить с точкой на плоскости, ортогональными координатными прямыми которой являются онтогенетическое и физиологическое времена соответствующей биологической системы. Но эти два измерения биологического времени нельзя считать полностью независимыми: в масштабах онтогенетического времени между ними наблюдается определенная связь. Так, с течением онтогенетического времени (с возрастом системы) ход физиологических часов замедляется, т.е. процессы, определяющие его течение, замедляются относительно некоторых эталонных физических часов.

Это явление имеет место на самых различных уровнях биологической иерархии: в культурах микроорганизмов и простейших по мере их развития и выхода численности на плато темп деления клеток замедляется в несколько раз; у многоклеточных организмов с возрастом замедляется темп обменных процессов; у экосистем по мере приближения к климаксу замедляется скорость оборота вещества за счет усложнения пищевой сети и связанного с этим удлинения реальных пищевых цепей и т.д. Иногда этот процесс замедления затушевывается постоянством навязываемых биологической системе ритмов (циркадных или годовых), но тем не менее общая тенденция всякий раз дает о себе знать. Более того, как раз в те периоды развития, когда такое замедление почти незаметно, онтогенетическое время практически останавливается, о чем уже говорилось выше.

Из приведенных примеров видно, что отрицательное ускорение (замедление) физиологических часов по существу эквивалентно положительному приращению показаний (т.е. ходу) онтогенетических часов. Иными словами, замедление физиологических для данной системы процессов, выражающееся дробью, где в знаменателе стоит отрицательный квадрат приращения физиологического времени, эквивалентно скорости ее онтогенетических процессов, в знаменателе которой стоит положительное приращение онтогенетического времени.

Аналогичная связь имеет место между мнимыми и действительными числами: отрицательный квадрат мнимого числа есть положительное действительное число. Это наводит на мысль, что координатную плоскость, точки которой соответствуют моментам двумерного биологического времени, можно интерпретировать как комплексную плоскость, мнимая ось которой представлена физиологическим временем, а действительная — онтогенетическим. При этом, разумеется, область определения двумерного времени данной биологической системы ограничена по мнимой оси “толщиной” ее настоящего, а по действительной оси ее максимальным возрастом по шкале онтогенетического времени. Кроме того, шкала действительной (а для высоких уровней биологической иерархии и мнимой) оси является дискретной, причем равномошной множеству целых чисел. Такие шкалы — своего рода счетчики циклов настоящего либо на данном уровне иерархии (действительная ось), либо на предыдущем уровне (мнимая ось).

Таким образом, двумерное время данной биологической системы можно представить в виде комплексной величины, действительной и мнимой частями которой будут выступать значения онтогенетического и физиологического времен соответственно.

Разумеется, приведенные выше соображения нельзя рассматривать как обоснование такого представления. Они лишь указывают на саму возможность применения здесь этого математического аппарата. А эффективность такого применения будет определяться лишь его результатами.

Например, комплексное представление биологического времени позволяет выразить в рамках одного формализма как циклический, так и экспоненциальный (в общем случае описываемый суммой экспонент) характер динамики, к которым сводится подавляющее большинство жизненных проявлений. Продемонстрируем это на примере.

§5. Уравнение динамики открытых биологических систем в комплексном времени

Хорошо известно, что биологические системы обладают высокой устойчивостью к не слишком сильным внешним возмущениям. Эта устойчивость, определяемая в быту как живучесть, носит гомеостатический характер и обусловлена креодичностью их траекторий в фазовом пространстве. А в окрестности устойчивого состояния (устойчивой траектории) можно линеаризовать зависимость между термодинамическими потоками и порождающими их силами в противоположность системам с бифуркационными неустойчивостями, где такая зависимость не имеет места.

В частности, для потока полной энергии, отнесенной к единице биомассы, в качестве порождающей его силы будет выступать градиент удельной полной энергии. Если же мы рассматриваем поток полной энергии между системой и средой, градиент вырождается в разность удельных полных энергий системы и среды.

Исходя из этих соображений и положив удельную полную энергию среды равной нулю, мы можем постулировать следующее уравнение:

$$-\frac{d\varepsilon}{dt} = k\varepsilon, \quad (5.1)$$

где ε — удельная полная энергия системы, а k — константа.

Введя теперь комплексное биологическое время τ в качестве аргумента, вместо (5.1) получаем

$$-\frac{d\varepsilon}{d\tau} = k\varepsilon. \quad (5.2)$$

Комплексное время τ в уравнении (5.2) можно представить, как уже отмечалось, в виде суммы действительного онтогенетического и мнимого физиологического времен. При этом физиологическое время (во всяком случае для клетки) разумно интерпретировать как обычное физическое время, определенное в силу приведенных выше соображений, на полуинтервале, равном “толщине” клеточного настоящего. Такая интерпретация есть просто констатация того, что процессы клеточной физиологии развиваются в том же времени, что и все процессы в мертвой природе. И лишь самовоспроизводимость этих процессов, обеспечиваемая аутомониторингом и приводящая к тому, что биологическое настоящее обретает “сюжет” и “толщину”, выводит клетку и другие биологические системы за традиционные рамки одномерного времени. Иными словами, о жизни той или иной биологической системы, а следовательно, и о специфике ее системного времени нельзя говорить, находясь в пределах временных интервалов, меньших “толщины” ее системного настоящего.

С другой стороны, онтогенетическое время открытых биологических систем есть величина, на которой определено развитие данной системы. Такое развитие, как правило, сопровождается ростом, т.е. увеличением биомассы. При этом биомасса является простейшей и наиболее легко измеряемой количественной характеристикой онтогенетического развития. Поэтому во всяком случае в первом приближении (пренебрегая дискретностью онтогенетического времени, т.е. пренебрегая приростом биомассы за “толщину” настоящего) онтогенетическое время удобно измерять в единицах биомассы B . Если же мы хотим сохранить для онтоге-

нетического времени более привычные временные единицы (часы, дни, месяцы или года), биомассу следует разделить на константу, имеющую размерность мощности (при измерении биомассы в энергетических единицах). Такую константу p_0 можно интерпретировать как мгновенную начальную скорость роста, т.е. скорость роста в момент образования (рождения) данной системы. Тогда $\tau \in \mathbb{R}/p_0 + it$, причем следует помнить, что t определено на полуинтервале, равном “толщине” настоящего для данной системы. В результате уравнение (5.2) примет вид

$$\frac{d\varepsilon}{(1/p_0)dB + idt} = k\varepsilon. \quad (5.3)$$

Рассмотрим теперь динамику открытой биологической системы в условиях, при которых онтогенетическое время практически остановилось, т.е. прирост биомассы равен нулю ($dB = 0$). Тогда уравнение (5.3) упростится:

$$\frac{d\varepsilon}{idt} = k\varepsilon. \quad (5.4)$$

Интегрирование уравнения (5.4) дает следующее выражение для динамики удельной полной энергии при этих условиях:

$$\varepsilon(t) = Ce^{-ikt} = C(\cos kt - i \sin kt), \quad (5.5)$$

где C — константа интегрирования.

Чисто осциллирующая экспонента типа (5.5) описывает те циклические процессы в биологических системах, которые в хронобиологии обычно называют биологическими часами. Разумеется, гармонический вид решения (5.5) является идеализацией — в реальных биологических системах циклические процессы носят более сложный характер, однако их всегда можно разложить в ряд Фурье, представив как сумму гармонических осцилляций.

А теперь рассмотрим динамику одного и того же события из “сюжета” настоящего в онтогенетическом времени. При этом t , определенное на полуинтервале, равном “толщине” настоящего, будет принимать каждый раз (т.е. для каждого последующего цикла настоящего) одно и то же значение. Иными словами, $dt = 0$. Тогда из уравнения (5.3) имеем

$$-p_0 \frac{d\varepsilon}{dB} = k\varepsilon \quad \text{или} \quad -\frac{d\varepsilon}{dB} = \frac{k}{p_0} \varepsilon. \quad (5.6)$$

Интересно, что уравнение (5.6) есть не что иное как основное дифференциальное уравнение в “Теоретической биологии” Э.С.Бауэра, где оно являлось отправной точкой его анализа (Бауэр, 1935). Решением этого уравнения при начальной биомассе B_0 и начальной удельной полной энергии или, как его называл Бауэр, начальном потенциале ε_0 будет выражение

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \exp\left\{\frac{k}{p_0}(B_0 - B)\right\}.$$

А принимая во внимание, что $\varepsilon E = E/B$, где E — полная энергия,

$$E = \varepsilon_0 B \exp\left\{\frac{k}{p_0} \Delta B\right\},$$

и, следовательно,

$$\frac{dE}{dB} = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{k}{p_0} B\right) \exp\left\{\frac{k}{p_0} \Delta B\right\}.$$

Но поскольку начальная энергия есть величина положительная, то всегда

$$\varepsilon_0 \exp\left\{\frac{k}{p_0} \Delta B\right\} > 0.$$

Таким образом, как указывает Бауэр, при $(k/p_0)B < 1$ энергия системы в целом будет возрастать с увеличением биомассы до максимума, достигаемого при $M = \varepsilon p_0/k$, где $M = \varepsilon B_{\max}$. Отсюда видно, что максимальная биомасса клетки или организма пропорциональна начальной скорости роста p_0 — результат, который не вытекал из теории Бауэра. С другой стороны, мы вслед за Бауэром приходим к выводу, что увеличение общей энергии клетки или организма за счет роста не может продолжаться до бесконечности, а ограничено определенной, своей в каждом конкретном случае предельной биомассой.

Главное же значение того факта, что основное дифференциальное уравнение Бауэра мы получили как частный случай нашего основного уравнения динамики открытой биологической системы, развивающейся в

комплексном времени, состоит в синтезе этих двух подходов к проблемам теоретической биологии вообще и к закономерностям роста и развития биологических систем в частности.

Таким образом, благодаря представлению двумерного биологического времени в виде комплексной величины нам удалось получить как циклическую, так и экспоненциальную динамику удельной полной энергии в открытой биологической системе. Это демонстрирует, на наш взгляд, эффективность именно такого представления. Что же касается представления многомерного времени для всех уровней биологической иерархии в целом, то это вопрос, требующий дальнейшей разработки. Но следует отметить, что само введение двумерности времени для каждого уровня иерархии позволяет определить природу биологической необратимости как существенно не статистическую и не бифуркационную, а *семантическую*, в каждом конкретном случае определяемую логикой развития “сюжета” настоящего данной биологической системы.

§6. Заключение

Подытоживая все сказанное выше, можно выстроить следующую логическую цепочку.

Спонтанное возникновение “живых” состояний в физико-химических системах невозможно в том смысле, что крайне маловероятно. Однако при посредстве биологических систем этот процесс совершается постоянно. Следовательно, биосистемы осуществляют перенормировку вероятностей состояний, причем эта перенормировка определяется более высоким структурным уровнем (омникаузальная детерминация). Такая омникаузальная перенормировка вероятностей, как неявно отмечалось многими авторами, характерна для всех уровней биологической иерархии от клетки до биосферы.

Математическим описанием процесса перенормировки вероятностей может служить формула Бейеса.

Если рассматривать эту формулу лишь как формальную модель, необходимо искать стоящие за таким описанием реалии, что аналогично поиску скрытых параметров в квантовой механике, бесперспективность которого все более очевидна. Впрочем, там гипотетические скрытые параметры мыслятся как универсальные для всех квантово-механических явлений, в то время как на разных уровнях биологической иерархии действуют, по-видимому, реалии различной природы. Вряд ли можно ожидать, что одни и те же силы упорядочивают движения молекул в клетке, деформации клеточных пластов при эмбриогенезе и изменения видов в процессе эволюции биосферы. Таким образом, на этом пути приходится отказаться от рассмотрения жизни как единого феномена.

Если же считать, что байесовский подход является не моделью, а теорией и соответственно отражает до известной степени суть жизни как процесса перенормировки вероятностей, мы неизбежно приходим к идее реальности функции состояния на макроуровне (Ω -функции) как вероятностного фильтра. Тогда перенормировка вероятностей на всех уровнях от клетки до биосферы сведется к мультипликативному взаимодействию функций состояния для соответствующих макро- и микроуровней. Для клетки функция состояния на микроуровне будет представлять собой Ψ -функцию.

Функции состояния микро- и макроуровней не тождественны друг другу, лишь когда функция макросостояния маркирована (обозначена) в макромире. Но, как мы знаем из практики, Ω -функции биосистем не только маркированы (т.е. биосистема способна отличать характерное для нее состояние от всех возможных и осуществлять на этой основе аутомониторинг), но и обладают временной “толщиной”, внутри которой отдельные микросостояния (события) выстраиваются в определенные последовательности (“сюжеты”). Такое наличие временной “толщины” макросостояния, которое, в свою очередь, развивается во времени, являясь событием “сюжета” следующего уровня иерархии, приводит к идее многомерного (на каждом уровне биологической иерархии — двумерного) биологического времени.

С другой стороны, наличие “сюжета” определяет контекстную зависимость, а следовательно, и семантическую неоднозначность входящих в него событий (состояний), определяемую “логикой сюжета”, приводящей к семантической необратимости, не сводящейся ни к статистической, ни к бифуркационной и организующей время в несоизмеримо большей степени. При этом события “сюжета” Ω -функции на макроуровне играют роль обозначающего, а их физическая реализация на микроуровне — обозначаемого.

Контекстная зависимость, при которой одно и то же событие (микросостояние) может приводить к совершенно различным результатам (макросостояниям), определяет отрицательный знак энтропии такого рода систем. К этому же выводу приводит и наличие омникаузальной детерминации, поскольку она предполагает, что макросостояние информационно богаче микросостояния в противоположность тому, с чем мы имеем дело в системах с положительной энтропией. И, наконец, временная “толщина” макросостояния в биосистемах, для реализации которого необходима реализация не одного из альтернативных, а целого ряда контекстно связанных микросостояний, приводит к величине его статистическо-

го веса меньшей единицы и соответственно к величине энтропии, меньшей нуля.

Таким образом, омникаузальность, отрицательный знак энтропии и рассмотрение функции макросостояния (Ω -функции) как вероятностного фильтра, не тождественного функции микросостояния и обладающего семантикой (во всяком случае для самой биосистемы), организующей отдельные события (микросостояния) в связный “сюжет”, — все это лишь различные аспекты одного процесса, процесса перенормировки вероятностей, лежащего в основе феномена жизни. Описание этого процесса требует введения двумерного времени на каждом из уровней биологической иерархии. И, наконец, одним из возможных способов представления такого двумерного времени является использование комплексных величин.

ЛИТЕРАТУРА

- БАУЭР Э.С. Теоретическая биология. М., 1935.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. Биогеохимические очерки. М., 1940.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1965.
- ВЕРНАДСКИЙ В.И. Размышления натуралиста. Ч.1. Пространство и время в неживой и живой природе. М., 1975.
- ВОЛЬКЕНШТЕЙН М.В. О количестве и ценности информации в биологии // Журн. общ. биологии. 1976. Т.37, вып.4. С.483–492
- ГОЛУБЕВ В.Н., РАБИНОВИЧ М.И., ТАЛАНОВ В.И. и др. Критические явления в неоднородных возбудимых средах. Моделирование на “ТВ-АНАЛОГЕ” // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т.42, №3. С.84–87.
- ДРИШ Г. Витализм. М., 1925.
- КОБОЗЕВ В.И. Исследование в области термодинамики процессов информации и мышления. М., 1971.
- МИХАЙЛОВСКИЙ Г.Е. Элементы биологической термодинамики. Иркутск, 1980.
- МИХАЙЛОВСКИЙ Г.Е. Отрицательная энтропия и диссипативные структуры, порожденные предельными циклами // Журн. физ. химии. 1981. Т.55, №7. С.1877–1879.
- МИХАЙЛОВСКИЙ Г.Е. Специфика экологических систем и проблемы их изучения // Журн. общ. биологии. 1984. Т.45, №1. С.66–78.

- МИХАЙЛОВСКИЙ Г.Е. Описание и оценка состояний планктонных сообществ. М., 1988.
- НАЛИМОВ В.В. Вероятностная модель языка. М., 1980.
- Фон НЕЙМАН Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Автоматы. М., 1956. С.68–116.
- ПРИГОЖИН И. От существующего к возникающему (время и сложность в физических науках). М., 1985.
- УОДДИНГТОН К.Х. Основные биологические концепции // На пути к теоретической биологии. I. Прологомны. М., 1970. С.11–38.
- ФЕЙНМАН Р. Характер физических законов. М., 1968.
- АБРАХАМ R. Simulation of cascades by video feedback. // Lecture Notes in Mathematics. 1976. V.525. P.10–14.
- БЕРТАЛАНФЬИ L. von. General system theory: A critical review. // Gen. Syst. 1962. V.7. P.1–20.
- d'ESPAGNAT B. Conceptual Foundations of Quantum Mechanics. 2-nd ed. Mass. 1976.