

Устойчивое неравновесие Э. Бауэра и гипотеза потока, генерирующего течение метаболического времени

© [А. П. Левич](#), 1992

Московский университет им. М.В.Ломоносова

Задача теоретической биологии

Пятьдесят пять лет назад в "Теоретической биологии" Э.Бауэр твердо отметил, что биология не есть прикладная физика или химия, что "все специальные законы..., которые будут открыты отдельными ветвями биологии, ...должны оказаться специальными... проявлениями всеобщих законов движения, свойственных живой материи" (Бауэр, 1935; с.8). Задачу теоретической биологии, причем задачу ближайшую, Э.Бауэр видит в разработке общих законов движения живой материи (отмечу, что задача эта не решена и поныне). В качестве аналога таких общих законов Э.Бауэр предлагает устройство теоретической физики, приводя примеры из механики Ньютона и статистической физики.

Каким же образом устроены теории в теоретически развитых областях естествознания? Методология науки подсказывает, что теория какого-либо фрагмента реальности обязательно включает ряд компонентов, разработка которых осознанно или, часто, неявно выступает этапами создания теории (Левич, 1989).

О-компонент состоит в описании идеализированной структуры элементарного объекта теории.

S-компонент заключается в перечислении допустимых состояний объектов теории. Другими словами, о компоненте *S* говорят как о пространстве состояний исследуемой системы.

C-компонент фиксирует способы изменчивости объектов и исправляет чрезмерную идеализацию, связанную с выделением объектов, поскольку в Мире нет объектов, а есть лишь процессы, абстракцию от которых составляют представления об объектах. *C-компонент* вводит в теорию процессы, изменчивость, предвремя.

Вместо строгих дефиниций приведу примеры элементарных объектов и их изменчивости.

В классической механике элементарными объектами являются материальные точки вместе с их положениями и скоростями в физическом пространстве, например, планеты Солнечной системы. Изменчивость задается траекториями точек. Пространство состояний есть шестимерное фазовое пространство - произведение трехмерного евклидова пространства на трехмерное пространство скоростей.

В квантовой механике элементарные объекты - амплитуды вероятностей состояний микрообъектов (например, энергетических состояний атома). Изменчивость в пространстве состояний задается траекториями векторов в бесконечномерном гильбертовом пространстве.

В теории ядра элементарные объекты - нуклоны и некоторые другие элементарные частицы, обладающие специфическим набором квантовых чисел. Изменчивость - взаимные превращения частиц и излучений. Пространство состояний ограничивается допустимыми, согласно законам сохранения, комбинациями квантовых чисел для совокупностей превращающихся частиц.

В эмбриологии роль элементарного объекта играет живая клетка, а роль изменчивости - процесс деления клеток. Пространство состояний описывается морфологическими признаками архетипов зоологических систематик.

В экологии сообществ объект - популяция организмов. Изменчивость складывается из процессов рождения и гибели особей. Пространство состояний - набор всевозможных векторов (n, n, \dots, n) , где n - численность популяции вида i , входящего в сообщество. Набор ограничен доступными организмам ресурсами среды.

T-компонент теории состоит во введении часов и параметрического времени в описание функционирования систем. Параметрическое время предлагается понимать как образ меняющихся объектов при отображении процесса изменчивости в линейно упорядоченное, метризованное (как правило, числовое) множество. Обычно изменчивость избранного объекта принимается за эталон, и с ее помощью измеряются иные изменчивости. Часы и есть естественный объект, изменчивость которого служит эталоном и операциональным способом устройства нужного отображения.

Традиционные часы естествознания основаны на физических процессах: конструкции с упругим или гравитационным маятниками; астрономические системы, фиксирующие вращение Земли вокруг оси или вокруг Солнца; цезиевые или иные источники электромагнитных колебаний; интенсивно обсуждающийся в последние годы пульсарный эталон сверхстабильных периодов; радиоактивный распад вещества. Вот как А.А.Фридман (1966, с.50-53) описывает появление физических часов: "Сопоставим ... каждой физической точке M пространства определенное основное движение и назовем часами данной точки M инструмент, показывающий длины дуг t , проходимых материальной точкой по траектории в основном движении ... Величину t ... назовем физическим местным временем точки M ...

Рассмотрим прежде всего звездное время ... За основное движение примем движение конца стрелки определенной длины, направленной из центра Земли на какую-либо звезду. Звездное время t будет длиной пути, описываемого концом указанной стрелки. Звездное время t будет одно и то же во всех точках пространства, это будет универсальное время ...

Рассмотрим теперь другое время, которое мы, для краткости, назовем гравитационным временем ... Положим, что материальная точка падает в постоянное поле тяготения, и выберем это движение за основное; часы покажут длину пути t_2 , пройденного этой точкой. Эта величина и будет гравитационным временем ... по отношению к гравитационному времени звезды движутся неравномерно ...

Введем ... время маятниковое. Построим значительное количество одинаковых часов с маятником и примем за основное движение для любой точки земной поверхности движение конца секундной стрелки часов с маятником, помещенных в этой точке. Путь, пройденный концом секундной стрелки наших часов с маятником от некоторой начальной точки, обозначим t_M и назовем маятниковым временем ... в отличие от универсальных звездного или гравитационного времен маятниковое время будет местным и на разных широтах будет различным".

Параметризация изменчивости с помощью физических часов пронизывает почти все контролируемое сознанием человека бытие - науку, культуру, быт... Однако изменения, происходящие в Мире, не сводятся к механическим перемещениям: химические превращения веществ, геологическая летопись Земли, развитие и гибель живых организмов и целых их сообществ, нестационарность Вселенной и социогенез... Не правильнее ли

признать, что часы, которые мы устанавливаем в системах отсчета, чтобы описать изменчивость природных объектов, могут быть различными? Можно ли при этом утверждать, что одни из этих часов, например, физические - это "хорошие" часы, а непохожие на них часы - "плохие"? Такая оценка была бы понятной, если бы относилась, например, к Галилею, пытавшемуся установить закономерности механического движения маятника - храмовой люстры, пользуясь "физиологическими часами" - ритмом собственного сердца.

Еще А. Пуанкаре подчеркивал: "... не существует способа измерения времени, который был бы более правильным, чем другой. Тот, который принимается, лишь более удобен. Сравнивая часы, мы не имеем права сказать, что одни из них идут хорошо, а другие плохо, мы можем только сказать, что предпочтение отдается показаниям одним из них" (Poincare, 1898). В нефизических областях естествознания все чаще возникает необходимость в часах, которые не должны быть синхронизированы с физическими эталонами, но оказываются более удобными и адекватными, чем последние, при описании нефизических форм движения.

В эмбриологии развитие различных организмов эффективно описывается с помощью единицы биологического времени, равной интервалу между одноименными фазами делений дробления (Детлаф, 1982). Эта единица ("детлаф") зависит от температуры и видоспецифична. Поэтому закономерности развития, описываемые в детлафах, не обнаруживаются при использовании шкалы астрономического времени.

Популяционное время в экологии (Абакумов, 1969), этнографии (Алексеев, 1975), генетике (Свиричев, Пасеков, 1982) удобно измерять количеством сменившихся поколений. Хроностратиграфическая шкала геологического времени образована последовательностью горных пород со стандартизированными точками, выбранными в разрезах с максимально полными сохранившимися пограничными областями (Харленд и др., 1985). Для стратиграфии, базирующейся на палеобиологической основе, длительности геологических эпох Земли могут измеряться вертикальной толщиной слоев, в которых встречаются организмы ископаемых видов (Симаков, 1977).

В модели психологического времени (Головаха, Кроник, 1984) длительности промежутков между значимыми для личности событиями измеряются количеством межсобытийных связей.

L-компонент теории представляет собой формулировку закона изменчивости, выделяющего реальное обобщенное движение объектов в пространстве состояний из всех возможных движений (термин "обобщенное движение" употреблен как синоним изменчивости объектов).

В механике, теории поля такой закон чаще всего имеет вид "уравнений движения". Например, уравнений Ньютона для движений макрообъектов с небольшими скоростями и в несильных полях или уравнение Шредингера в нерелятивистской квантовой механике, уравнения Максвелла, Эйнштейна, Дирака и т.д.

Закон может быть сформулирован не в виде уравнений, а скажем, в форме экстремального принципа. Например, принципа минимального действия: реальна траектория, для которой интеграл по времени от разности кинетической и потенциальной энергии минимален. Формулировки закона изменчивости в виде уравнений движения и в виде экстремальных принципов равносильны.

Для многих областей естествознания (в частности, в приведенных примерах, для теории

ядра, эмбриогенеза, экологии) формулировка законов изменчивости составляет цель построения теории. Эта цель недостижима без корректного решения классов проблем, составляющих разработку O , C , S и T компонентов теории. В методологии естествознания наименее разработаны C и T компоненты. Существует тесная взаимосвязь между выбором этих компонент и способом получения L -компоненты. По А.А.Шарову, закон движения есть описание изменчивости исследуемого объекта с помощью изменчивости эталонных часов, поэтому от степени адекватности выбора часов исследуемым процессам может зависеть способность обнаружить закон изменчивости. Законы движения влияют на способы измерения времени в тех областях, где T и L компоненты теории согласованы (Время и современная физика, 1970), например: "... одновременность двух событий или порядок их следования, равенство двух длительностей должны определяться таким образом, чтобы формулировка естественных законов была бы настолько простой, насколько это возможно" (Poincare, 1898).

По-видимому, трудности получения уравнений движения во многих областях науки связаны как раз с несогласованностью физических способов измерения времени с нефизической природой исследуемых закономерностей.

Наконец, I -компонент теории составляет набор интерпретирующих процедур. Во-первых, это процедура сопоставления формальных, как правило, математических конструкт и теории абстрактных понятий предметной реальности. И во-вторых, правила соотнесения предметных понятий с экспериментально измеряемыми величинами.

Так, аппарат квантовой механики в качестве формального объекта работает с комплекснозначными волновыми функциями и действующими на них операторами. Переход к понятиям макрофизической реальности осуществляется постулируемыми правилами: квадрат волновой функции есть вероятность обнаружить микрочастицы в определенной точке пространства и времени, а собственное значение оператора есть количественное значение соответствующей физической характеристики. Для наблюдения вероятностных распределений требуются, например, интерференционные эксперименты с прохождением частиц через препятствия, а, скажем, энергетические характеристики атома определяются через расстояние между спектральными линиями в экспериментах по испусканию или поглощению излучения атомами.

I -компонент - обязательная составная часть теории. Именно интерпретирующие процедуры превращают формальную теоретическую схему в науку о реальности. Возможности развития I -компонента теории, особенно в части экспериментальных идентификаций, зависят не только, а порою не столько, от достоинств теоретической схемы и ее создателей, сколько от суммы технологий, достигнутой всей цивилизацией.

Гипотезе Демокрита об атомном строении вещества понадобились тысячелетия, чтобы превратиться в верифицированную теорию.

Огромный накопленный опыт рентгеноструктурного анализа оказался необходимым, чтобы гипотеза о дискретном наследственном веществе почти через сто лет после возникновения оформилась в конструктивную модель двойной спирали дезоксирибонуклеиновой кислоты.

Интерпретационные процедуры крайне неоднозначны. Разработка I -компонента часто оказывается наиболее трудным и самым уязвимым этапом создания работающей теории.

В нынешней парадигме естествознания вопрос "Что есть время?" воспринимается как наивный или вненаучный; большая часть человечества либо считает ответ на этот вопрос

понятным для себя без особых дефиниций, либо полагает, что ответ содержится в каком-то из учебников физики. Но на самом деле, во всех построениях теоретической физики время всегда является базовым понятием, исходным, лежащим в основе всех наших динамических построений - последние вообще приобретают физический смысл, благодаря понятию времени, так что структура самого времени как физического объекта с самого начала постулируется максимально простой (Акчурин, 1974). "Интерпретация времени как внутреннего свойства физической системы выходит за рамки традиционного физического описания" (Пригожин, 1985, с.218). Физика, во-первых, отождествляет время с множеством действительных чисел, правда, без предъявления явно выраженных нематематических представлений о времени (из-за чего оказывается невозможным конструктивный анализ соответствия аксиоматики действительной прямой свойствам самого времени). И во-вторых, физика предлагает для регистрации любой изменчивости физические часы, обязательно основанные на процессах, связанных с гравитационным или электромагнитным взаимодействиями, т.е. имеет дело только с параметрическим временем, основанном на узком классе естественных часов.

Таким образом, построение биологической теории должно предваряться:

- исследованием феномена времени в биологии и
- разработкой конструкции времени, пригодной для построения T -компонента законов движения живой материи

Задачи настоящей работы:

- показать, что интерпретации принципа устойчивого неравновесия Э.Бауэра могут оказаться эквивалентными гипотезе о существовании потока, генерирующего течение метаболического времени естественных систем;
- предъявить конструкцию субституционного времени, возможно, пригодную для поставленных Э.Бауэром целей построения биологической теории.

О происхождении источников неравновесности

"... все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянно работу против равновесия..." (Бауэр, 1935, с.43). Источником свободной энергии, по Э.Бауэру, является неравновесность молекулярной структуры живого (синонимы - "работа структурных сил" или "структурная энергия"), а не непосредственно потребляемая организмами химическая энергия пищи. Последняя не служит источником пополнения структурной энергии, т.к. нет "энергетического обмена" веществ, а в сущности существует лишь один пластический обмен" (Бауэр, 1935, с.121). Автора принципа устойчивого неравновесия можно понять так, что источником структурной энергии организма в течение всей его жизни является свободная энергия яйцевой клетки (Бауэр, 1935, с.130).

Но каков же исходный источник неравновесности, или структурной энергии, или свободной энергии, или Бауэровского термодинамического потенциала ?? Мне не удалось отыскать прямой ответ на этот вопрос у самого Бауэра. Желание обосновать применение принципа устойчивого неравновесия диктует варианты происхождения неравновесности организмов:

— закон невозрастания (или сохранения) структурной энергии и передачи ее от поколения к поколению;

— возможность внешнего пополнения структурной энергии в момент зарождения (или оплодотворения) яйцевой клетки;

— отказ от невозможности прижизненного пополнения структурной энергии с указанием способов такого пополнения (например, некоторого механизма ассимиляции ее автотрофами и дальнейшего распространения по трофическим цепям в биосфере).

Во втором и третьем случаях, а также при других возможных, конечно, вариантах, допускающих пополнение организмами своей структурной энергии, остается вопрос об источниках такого пополнения.

В контексте обсуждения принципа устойчивого неравновесия отличие живого от неживого состоит в существовании в мире некоторой особой структурной энергии и в существовании у живого специфических способов ее использования.

В связи с проблемами осмысливания принципа устойчивого неравновесия возникает ассоциация с поисками источников неравновесности и в ином естествоиспытательском контексте. Речь идет о проблеме течения времени, или становлении. Одна из возможных гипотез о природе течения времени связана с субституционной конструкцией времени (Левич, 1989).

Все естественные системы иерархичны. На любом уровне их иерархического строения происходят замены (субституции) составляющих систему элементов. Любая изменчивость естественных систем может быть описана суперпозицией замен элементов каких-либо уровней строения системы. Количество замененных элементов некоторой эталонной системы может служить субституционными часами систем. Происхождение замен элементов обязано внешнему для системы потоку элементов некоторого ее глубинного уровня строения, потоку, который пронизывает содержащую систему естественную иерархию. В частности, время Вселенной (т.е. области мира, доступной инструментальным методам измерения) порождается некоторым генерирующим потоком предэлементов довольно глубоких уровней иерархии строения материи. Т.е. Вселенная не изолирована, не замкнута, не равновесна, и именно ее неравновесностью порождено течение времени.

Появившись как логическая экстраполяция свойств метаболического времени, генерирующий поток позволяет конструктивно искать подходы к существующим проблемам естествознания. Связь между течением времени и неравновесностью, диссипацией потоков и необратимостью тривиальна: неравновесность системы, т.е. наличие субстратно-энергетического потока через нее, и есть течение времени. Нетривиально то, что для этой тривиальности обязательно должен существовать генерирующий поток. Вопрос о "природе" времени, причинах его "течения", механизмах становления переводится гипотезой потока в вопрос о происхождении и статусе субстратной и энергетической "подпитки" нашей Вселенной. Для конструкции времени поток представляет фундаментальный, первичный, эталонный объект и порождает последовательность моментов времени - время линейно упорядочено потому, что таков генерирующий поток. Необратимость времени - не имманентное его свойство, а привносимое во Вселенную вместе с направленностью потока предчастиц: необратимость времени существует, пока не обращен генерирующий поток.

Существование потока избавляет второе начало термодинамики от жупела "тепловой смерти" Вселенной. Возрастание энтропии ведет к равновесному распределению лишь при глобальной экстремизации энтропии изолированной системы. Наличие потока, лимитирующего эволюцию системы, требует решения задачи на условный экстремум и

влечет неравномерные распределения параметров типа распределения Гиббса (Левич, 1980), а также влечет возможность порождения структур, т.е. самоорганизации.

"... ежедневный опыт убеждает нас в том, что свойства природы не имеют ничего общего со свойствами равновесной системы, а астрономические данные показывают, что то же самое относится и ко всей доступной нашему наблюдению колоссальной области Вселенной" (Ландау, Лифшиц, 1964; с.45-46). В связи с этим не служит ли отсутствие признаков равновесности Вселенной аргументом в пользу гипотезы о существовании генерирующего потока?

Ассоциации, связанные с идеей порождающего потока, не новы ни в философии, ни в естествознании. Это и картина мира в даосизме, и абсолютное время И.Ньютона, и современный физический вакуум. Это и субстанциональная концепция Дж.Уитроу, касающаяся гипотезы..., согласно которой имеется единый основной ритм Вселенной" (1964, с.63). Это и поток времени Н.А.Козырева.

Н.А.Козырев представлял, что время "является грандиозным потоком", охватывающим все материальные процессы во Вселенной, и все процессы, происходящие в этих системах, являются источниками, питающими этот общий поток" (Козырев, 1963, с.96). Автор пишет об интенсивности или плотности этого потока, об энергии, которую несет поток, о его излучении или поглощении о прямолинейности его распространения, об отражении от препятствий или о поглощении его веществом. Поэтому возникают основания для отождествления потока Козырева с некоторым субстанциональным потоком, источником которого являются, по Козыреву, любые неравновесные, необратимые мировые процессы (под которыми подразумеваются, по-видимому, процессы, сопровождающиеся изменениями энергии и термодинамической энтропии систем).

Козырев предлагает заметить резкое противоречие между вторым началом термодинамики, приближающим тепловую и радиационную деградацию Вселенной, и отсутствием каких-либо следов равновесия в наблюдаемом разнообразии Вселенной. Он подчеркивает, что "попытки объяснить отсутствие тепловой смерти...были оторваны от той реальной Вселенной, которую наблюдает астроном. Дело в том, что отдельные небесные тела и их системы так изолированы друг от друга, что для них тепловая смерть должна заметно приблизиться, прежде чем произойдет вмешательство сторонней системы. Поэтому деградированные состояния систем должны бы преобладать, а вместе с тем они почти не встречаются. И задача состоит не только в том, чтобы объяснить неравновесность Вселенной в целом, она имеет значительно более конкретный смысл - понять, почему отдельные системы и сами небесные тела продолжают жить, несмотря на короткие сроки релаксации (Козырев, 1968, с.96). Возможны различные гипотезы, "спасающие" второе начало термодинамики. Например, сохранение изолированности Вселенной и расположение текущего момента космологического времени не настолько далеко от "начальной" флуктуации (сингулярности, катаклизма), чтобы следы деградации были достаточно заметны, т.е. "смерть" отодвигается на далекое будущее. Н.А.Козырев предлагает альтернативный вариант: Вселенная и ее подсистемы не изолированы, т.е. необходимое условие действия второго начала термодинамики отсутствует; "в природе существуют постоянно действующие причины, препятствующие возрастанию энтропии" (Козырев, 1958, с.3). Необходимым источником неизолированности системы как раз и является поток Козырева, который также необходим для объяснения происхождения энергии звезд (Козырев, 1948, 1950).

Поток Козырева проявляется в многочисленных механических явлениях. Необратимые

процессы (например, в экспериментах Н.А.Козырева это - деформация тел, удары воздушной струи о препятствия, работа песочных часов, поглощение света, трение, горение, некоторые виды деятельности наблюдателя, изменение температуры тел, изменение агрегатного состояния вещества, растворение или перемешивание веществ, увядание растений, несветовое излучение астрономических объектов), по мнению экспериментаторов, излучая или поглощая козыревский поток, поворачивают коромысло или диск крутильных весов. Оказывается при этом, что поток может экранироваться и поглощаться веществом, а также отражаться. Неупругие процессы в твердых телах меняют их вес, а для упругих тел меняются количественные характеристики упругости. Меняется вес волчков при условии включения вращающегося тела в дополнительный процесс, например, вибрацию, нагрев или охлаждение, пропускание электрического тока. Многие особенности фигуры и климата как Земли, так и других планет объясняются влиянием диссипативных процессов на планеты как на гиганские гироскопы.

На поток, сопутствующий неравновесным процессам, реагируют параметры и немеханических датчиков: величина сопротивления резисторов, уровень ртути в термометрах, частота колебаний кварцевых пьезоэлементов, электрический потенциал термопары, вязкость воды, работа выхода электронов в фотоэлементах, скорости химических реакций.

Следует отметить, что взгляды Н.А.Козырева с трудом укладываются в существующие физические представления. Величины эффектов в опытах Козырева невелики: дополнительные силы в механических опытах составляют 10^{-4} - 10^{-5} величины веса тела, участвующего в измерении; относительное изменение, обязанное потоку Козырева, в работе немеханических датчиков составляет 10^{-5} - 10^{-7} измеряемой величины; для крутильных весов эффект поворота может достигать нескольких десятков градусов, что соответствует силам, составляющим 10^{-6} - 10^{-7} от величины уже действующих в системе сил. Вот как иллюстрирует трудности обнаружения скрытых дополнительных источников энергии звезд, связанные с локальной малостью эффектов, Н.А.Козырев (1977, с.210): "Получилась ситуация, аналогичная той, в которой оказался бы физик лаборатории, оторванной от Земли и находящийся в глубинах космоса. Едва ли он бы натолкнулся в своих опытах на действие сил тяготения. Вместе с тем эти силы определяют не только всю динамику космических тел, но и их внутреннее строение. Аналогия здесь заключается в том, что, несмотря на огромную потерю энергии, звезда представляет собой удивительный по совершенству термос. Например, вещество Солнца при температуре внутри него порядка десяти миллионов градусов может остывать в соответствии со шкалой Гельмгольца-Кельвина, только на один градус за три года. Ничтожный приток энергии, необходимый для компенсации такого расхода, едва ли мог бы обратить на себя внимание в лабораторных условиях". "Результаты опытов показывают, что организующее ... свойство времени оказывает на системы влияние очень малое в сравнении с обычным разрушающим ходом их развития. Поэтому не удивительно, что это ... начало было пропущено в системе наших научных знаний. Но будучи малым, оно в природе рассеяно всюду и поэтому необходима только возможность его накопления"... (Козырев, 1982, с.71).

Н.А.Козырев неоднократно подчеркивал, что неравновесность Мира, создаваемая потоком времени, должна самым обязательным образом сказываться на осмыслении феномена жизни во Вселенной.

"... жизненного начала и нет в наших научных знаниях. Физика, химия и другие точные науки могут строго проследить и предсказать путь гибели подхваченного ветром, упавшего с дерева

листа и даже написать уравнение его движения, но они бессильны объяснить, как он вырос, как он принял свою форму и свойства. Нельзя ссылаться на то, что у растений есть особые свойства, которых нет в неживой природе. Живые организмы не могут создать то, чего нет в природе. Они могут только собрать и использовать то, что заложено в общих свойствах Мира. Эти свойства должны быть, следовательно, и в неживой природе. Их надо искать именно здесь, где можно пользоваться методикой точных наук и опереться на их огромный опыт познания". (Козырев, 1975, с.2-3). "Результаты опытов показывают, что организующее начало, которое вносит активное свойство времени, оказывает на системы влияние очень малое в сравнении с обычным разрушающим ходом развития. Поэтому, не удивительно, что это жизненное начало было пропущено в системе наших научных знаний. Но, будучи малым, оно в природе рассеяно всюду и поэтому необходима только возможность его накопления, подобная той, при которой малые капли воды, падающие на обширные области, поддерживают непрерывное течение могучих речных потоков. Такая возможность осуществляется в организмах, поскольку вся жизнедеятельность противодействует ходу разрушения систем" (Козырев, 1982, с.71).

"Существующий в Мире ход времени устанавливает в пространстве объективное отличие правого от левого. Изумительным является то обстоятельство, что в природе действительно имеются бросающиеся в глаза объективные отличия правого от левого. Эти отличия давно известны в органическом мире. Морфология животных и растений дает многочисленные примеры упорной, передающейся по наследству асимметрии. Например, у моллюсков в подавляющем числе случаев раковины закруглены в правую сторону. Преобладание определенной симметрии наблюдается и у микробов, образующих колонии спиральной структуры. У высокоорганизованных существ асимметрическое положение органов всегда повторяется, например, сердце у позвоночных, как правило, расположено слева. Подобная асимметрия существует и у растений, например, в предпочтительности левых спиралей у проводящих сосудов.

В середине прошлого века Луи Пастер открыл асимметрию протоплазмы и рядом замечательных исследований показал, что асимметрия является основным свойством жизни. В неорганической природе стереоизомеры образуют рецематы, т.е. смеси с одинаковым количеством правых и левых молекул. В протоплазме же наблюдается резкое неравенство правых и левых форм. Воздействие на организм правых и левых изомеров часто весьма различно. Так, например, левовращающая глюкоза почти не усваивается организмом, левый никотин более ядовит, чем правый, и т.п. ... Асимметрия может иметь физический смысл только при существовании направленности времени"(Козырев, 1958, с.26-27).

Живые организмы, по Козыреву, могут быть и источниками и детекторами субстанционального потока.

"О лабораторных опытах с растениями стоит рассказать подробнее. Опыты проводились на крутильных несимметричных системах, в которых стрелки из жасмина, бамбука и стекла были подвешены на капроновых нитях, а также и на крутильном диске из плотной бумаги. Системы были заключены в жестяные цилиндрические кожухи с герметично установленным сверху стеклом для наблюдения. В опытах участвовали многие растения (яблоня, груша, липа, каштан, клевер, одуванчик, мятлик и другие), произрастающие на территории Пулковско и сорванные в разное время года. Методика эксперимента была следующей. Растения приносились в лабораторию, раскладывались на столе, каждое отдельно, выдерживались некоторое время и после этого клались вершиной или срезом у края крутильных весов на расстоянии около 300 от направления стрелки (или условного индекса диска) поочередно с

той и с другой стороны от нее ... В подавляющем большинстве опытов растения давали отклонения крутильных весов и диска, но повторения результатов добиваться не удавалось. Значения этих эффектов отличались не только количественно, но и по знаку. Контрольный процесс - испарение ацетона с ватки - всегда показывал ... отклонение стрелки весов в сторону отталкивания, а вращение диска по часовой стрелке ... Значение эффектов от растений в разное время года колебались от 1-2? до почти полного оборота, при этом знак эффекта мог быть различным. В первый момент после срыва растения ... вызывает отклонение стрелки весов в сторону от растения. На срезе и на вершине растения знак эффекта остается одинаковым, а количественные значения отличаются мало. Во второй период ... стебель продолжает отталкивать стрелку крутильных весов почти с той же силой и интенсивностью (всегда ровно и умеренно), а верхинка начинает притягивать ее очень активно, иногда пульсирующими толчками ... Например, ветка яблони в цвету накануне сброса лепестков может дать эффект притяжения порядка 250-300о в течение 5-10 минут. Обычный эффект отталкивания для ветки яблони лежит в пределах 10-30о и проявляется примерно за то же время ... В 1983 году у пулковских яблонь был отмечен осенний период повышения активности. Но известно, что яблони именно в этот период закладывают основу урожая будущего года. Действительно, урожай яблок в Пулково в следующем году был очень высоким. Осенние наблюдения ... 1984 года такой активности у яблонь не показали и лишь отдельные растения дали урожай яблок летом ... Характерно, что значительное увеличение количества растений в опыте практически ... не повышает значения эффекта".

"Было установлено ... что обычная деятельность человека мало изменяет состояние измерительных систем ... В болезненном состоянии человек очень активно взаимодействует с измерительными системами, причем действие это начинается значительно раньше того момента, когда человек замечает свое заболевание. Были случаи, когда мы с Н.А.Козыревым устанавливали свои простудными заболеваниями за 1-2 дня до того момента, когда начиналось недомогание и поднималась температура тела. Особенно сильное воздействие на измерительные системы оказывает человек в состоянии эмоционального возбуждения. Например, при чтении текста любимого "Фауста" Николай Александрович мог отклонять стрелку крутильных весов до 40 и более градусов. В то же время математические операции в уме отклонения стрелки, как правило, не показывали".

Эти цитаты взяты из доклада В.В.Насонова "Время физическое и жизнь Природы" (с. 3,4,15), прочитанного 6 декабря 1985 года на общемосковском семинаре по изучению проблем времени в естествознании в Московском университете.

"В качестве источника воздействия был выбран процесс испарения жидкого азота ... Кроме того, наблюдалось действие естественного процесса таяния снега ... фактически на исследуемый объект оказывали воздействие два процесса: само испарение и процесс разогревания паров азота ... в качестве объектов исследований были выбраны микроорганизмы вида *Pseudomonas fluorescens* и микроорганизмы артезианской воды, семена овса и гороха ... и процесс выращивания репчатого лука в воде ... По существующим представлениям отклонения окружающей температуры в пределах 1о С существенно не влияют на жизнедеятельность биологических объектов. Тем не менее, требования к стабильности температуры были повышены до 0,2о С ... Влияние изменения концентрации азота в воздухе помещения исключалось непрерывной вентиляцией..., а также тем, что в большинстве случаев объекты исследования находились в герметически закрытых пробирках. Материал пробирок - обычно стекло.

Время действия, как правило, составляло 60 минут ... Все опыты сопровождалось

контрольными экспериментами, в которых исследуемые объекты находились в условиях адекватных опытным, но не подвергались воздействию процесса испарения жидкого азота.

... Для микроорганизмов ... в случае воздействия процесса испарения жидкого азота характерно резкое угнетение жизнедеятельности в течение первых суток опыта, а затем стремление к соответствующему нормальному уровню...

... Опыты с семенами овса дали важный результат, а именно: при средней всхожести контрольной группы семян, равной 60% , всхожесть семян, подвергнутых воздействию процесса испарения жидкого азота, оказалась равной нулю: семена полностью погибли. С этими семенами было осуществлено два опыта, в которых использовалось 80 семян.

Опыты с семенами гороха также дали интересные результаты. Было проведено 6 опытов с использованием 600 семян. Средняя всхожесть семян оказалась равной 92% . Средняя всхожесть семян, подвергнутых воздействию...оказалась равной 62%, т.е. часть семян погибла.

В следующей серии экспериментов опытная группа семян не подвергалась как обычно воздействию процесса. Воздействию была подвергнута водопроводная вода, которой орошались семена. В этом опыте использовалось 60 семян, которые были разбиты на 3 группы по 20 семян. Всхожесть во всех группах оказалась 100%. ... При орошении семян водой, подвергнутой ... воздействию, также наблюдалось выраженное отставание в развитии опытных групп семян по сравнению с контрольной группой.

Эксперимент с проросшими семенами гороха, которые были подвергнуты воздействию процесса испарения жидкого азота, был продолжен: опытная группа семян и соответствующая им контрольная были высажены в открытый грунт. Наблюдение велось за ростом стеблей ... На пятые сутки опытные растения, отстававшие от контрольных, начали догонять контрольные, догнали и далее существенно опережали в росте контрольную группу. Максимальное опережение (до 50%) наблюдалось на восьмые сутки...

Опыты показали, что заметное дистантное влияние на состояние живого вещества оказывает не только такой интенсивный процесс, как испарение жидкого азота, но и такой процесс, как таяние снега... В качестве объекта были отобраны здоровые луковицы одинакового размера и с одинаковыми зачатками корневой системы ... Над опытной группой под некоторым углом был укреплен отражатель (лист картона, обтянутый фольгой из алюминия) с таким расчетом, чтобы на эти луковицы падало отражение снега, лежащего перед окном на улице. Так как из-за отражателя нарушалось равенство световых условий контрольной и опытной групп, на стекло окна в районе отражателя наклеивалась писчая бумага. Результаты наблюдений следующие. 50% луковиц контрольной группы загнили, не развив корней и не выпустив стрелок. Развитие остальных луковиц этой группы характеризовалось медленным ростом корневой системы и запаздыванием в выбросе стрелок, их малым количеством и замедленным ростом. К концу опыта средняя высота стрелок составила 150 мм, вода в банках была мутной и имела специфический запах гниения. Опытная группа луковиц резко отличалась от контрольной. С самого начала наблюдался бурный рост корневой системы. Корни полностью заполнили нижнюю часть банок. Все луковицы оказались жизнеспособными. Вода в банках на протяжении всего опыта была кристально чистой и без запаха. К концу опыта стрелки этой группы луковиц были высотой в 300 мм...

Приведенный экспериментальный материал позволяет сделать следующие выводы:

Необратимые процессы ... дистантно изменяют физические свойства окружающего вещества.

Живое вещество обладает особой чувствительностью к воздействию этих процессов...

Для биологических объектов, подвергнутых кратковременному прямому воздействию процесса испарения жидкого азота, характерна в определенных условиях не только полная ликвидация угнетения жизнедеятельности со временем, но и последующее ее стимулирование (Данчаков, 1984, с.101-121).

Опыты по воздействию процесса испарения жидкого азота на семена гороха были продолжены систематическим образом. "Семена подвергались воздействию за день до посева... воздействию подвергались сухие семена ... В течение двух полевых сезонов были проведены четыре ... опыта ... В каждом опытном варианте и контроле фигурировало по три повторности, в каждой из которых участвовало по 175 семян ... в трех вариантах ... семена подвергались исследуемому воздействию в течение 15 минут, 6 минут и 3 минут. Эти варианты ... обозначаются как O(15), O(6) и O(3) соответственно ... В соответствии с числом повторностей устанавливались в ряд три источника исследуемого воздействия. Строго над каждым из них (на фиксированном во всех опытах расстоянии около 65 см) на хлопчатобумажной ткани, натянутой на специальном каркасе, располагались семена в бумажных пакетах ... наблюдались процессы появления всходов, роста и развития стеблей, а также получен ряд ... характеристик продуцированных семян...

Суммируем повторившиеся характерные особенности исследуемого явления.

По появлению всходов и развитию растений опытные варианты отстают от контрольного, затем отставание в некоторых вариантах сменяется опережением...

В самом представительном классе семян урожая (составляющем около половины всего урожая) вес 200 опытных семян ... больше, чем вес таких же семян в контроле ... Распределение 200 семян по весу является четким, высоко статистически достоверным ответом используемой биологической системы на исследуемое воздействие.

Среднее отличие всех опытных вариантов от контрольного по большинству рассматриваемых показателей в несколько раз больше, чем среднее отличие разных опытов между собой ... Во всех рассмотренных характеристиках наблюдается один из обычных и постоянных признаков наличия воздействия ... - увеличение размаха вариации, все распределения опытных растений характеризуются большей дисперсией, чем у растений в контроле...

В постановке и интерпретации ... опытов необходимо учесть главную особенность изучаемого явления. Мы исследуем дистанционное воздействие процесса испарения жидкого азота на биологическую систему. Однако если рассматриваемая биологическая система зафиксировала исследуемое воздействие, то отсюда следует, что она фиксирует в той или иной мере и все остальные природные и искусственные необратимые физические процессы, в качестве эффективной лабораторной модели которых и используется в опыте процесс испарения жидкого азота. Это означает, что рассматриваемая биологическая система всегда находится в сфере близких и далеких неконтролируемых в опытах необратимых процессов" (Данчаков, Еганова, 1987, с.11-81).

В.В.Насонов, развивая идеи Н.А.Козырева, прямо указывал, что спиральные молекулы белков чувствительны к плотности потока времени.

Сопоставляя идеи Э.Бауэра и Н.Козырева, можно предположить, что поток времени Н.Козырева представляет искомый источник структурной неравновесности Э.Бауэра для живых организмов.

Чем же отличается живое от неживого?

Постулированный Э.Бауэром принцип устойчивого неравновесия вместе с авторскими комментариями к нему призван отличить машину от живой системы. Как отмечалось выше, необходимой предпосылкой действия принципа устойчивого неравновесия служит существование источника неравновесности, питающего организмы свободной энергией, причем источника - независимого от химической энергии питательных субстратов.

Попробуем на языке субституционного подхода, очень кратко описанного в предыдущем параграфе, более конкретно (а значит, и более уязвимо) выразить гипотезу Э.Бауэра. Подробное изложение субституционного подхода к описанию естественных систем содержится в работах А.П.Левича (1989а, 1989б). Термин "метаболический" (подход, время и т.д.) из этих работ в настоящем тексте заменен термином "субституционный". Нам понадобятся четыре положения:

1. На всех уровнях иерархического строения естественных систем происходит генеральный процесс замены составляющих систему элементов.
2. На некоторых уровнях иерархического строения систем существуют субстанциональные потоки, порождающие генеральные процессы в системе.
3. Среди глубинных генерирующих потоков содержится и субстанциональный поток, порождающий течение времени во Вселенной.
4. Жизнь связана с возможностью аккумулировать и использовать неравновесность потоков уровней строения систем, более глубоких, чем уровень молекулярный. В частности, возможно, - и того уровня, поток элементов которого порождает течение времени.
5. Индивидуальное существование организмов состоит в исчерпании запаса субстанций тех потоков, которые генерируют жизнь.

Первые три постулата взяты непосредственно из субституционного подхода. Они задают контекст для перехода к описанию живых систем и эквивалентны той части принципа Бауэра, где говорится о необходимости неравновесности при описании жизни.

Четвертый постулат вводит в субституционный подход специфику живых систем и соответствует утверждению Э.Бауэра об отсутствии энергетического пищевого обмена у живых организмов. По поводу справедливости пятого постулата Э.Бауэр приводит достаточно аргументов, в силу которых он делает вывод о расходовании в течение индивидуальной жизни организма свободной энергии лишь яйцевой клетки.

Можно привести и иные доводы в пользу пятого постулата. Один из доводов основан на том, что кривые роста многоклеточных организмов аналогичны кривым роста популяций одноклеточных особей. Обычный S-образный вид кривых роста характерен для популяций, растущих на ограниченном питательном субстрате, например, при накопительном культивировании. При проточном культивировании клеток, сопровождаемым непрерывным поступлением питательных субстратов, кривая роста представляет собой растущую экспоненту - только левую часть S-образной кривой. Из того, что кривая роста многоклеточных организмов всегда имеет стационарную или затухающую правую ветвь, выводится аналогия с исчерпанием этими организмами в течение жизни некоторой подчиняющейся закону сохранения субстанции. Замечу, что для существования S-образной кривой роста гипотеза о расходовании в течение жизни лишь субстрата зародышевой клетки не необходима. Достаточно, чтобы была ограничена сумма субстрата в клетке с запасом,

доступным для потребления из среды. Так, например, рост при накопительном культивировании в колбе популяций одноклеточных (ценобиальных, колониальных и т.д.) водорослей распадается на несколько стадий (Левич с соавт., 1986): стадия *A* - накопление внутри клеток питательного субстрата; стадия *B* - рост за счет запасов среды, в точности пропорциональный потреблению субстрата из среды и стадия *C* - рост за счет внутриклеточных запасов после исчерпания в колбе ограничивающего рост вещества. При этом экспоненциальная часть кривой роста включает как стадию *B* так и часть стадии *C*. Стационарная же ветвь кривой роста (может быть, достаточно длительная) - это часть стадии *C*, на которой происходит уменьшение клеточной квоты по лимитирующему субстрату до некоторого видоспецифического минимального значения.

Естественным образом, возникает много вопросов и комментариев по поводу приведенной "колбовой" модели жизни. Но на нынешнем этапе ее развития главным, пожалуй, было бы детектирование и идентификация гипотетических потоков, генерирующих неравновесность живых систем. Именно поэтому в предыдущем разделе уделено внимание работам Н.А.Козырева и его последователей. Если обнаружение или взаимодействие не окажется артефактом, то оно будет проявлением потоков, которые необходимы для подтверждения как принципов Бауэра, так и тезисов субституционного подхода.

Специфические метаболические потоки, порождающие неравновесность живой материи, могут проявляться в целом ряде взаимодействий живых объектов, обнаруженных, но окончательно не интерпретированных биологами. Примерами могут служить сверхслабые межклеточные взаимодействия (Казначеев, 1981) или морфогенетические поля А.Гурвича (1944). Замечу, что концепция морфогенетического поля перекликается как с воззрениями Э.Бауэра, полагая элементарными источниками поля "неравновесно деформированные состояния нуклеопротеидов" (Гурвич, 1986, с.392); так и с субституционным подходом, поскольку существенное содержание "концепции клеточных полей заключается ... в ... сопряженной зависимости различных уровней (организменного, клеточного, и молекулярного), корректирующей посредством актуальных полей взаимоотношения уровней (Гурвич, 1986; с.392).

На пути к динамической теории

Вернемся к задаче о возможных путях описания законов движения живой материи.

Субституционная конструкция времени предлагает для динамической теории:

- элементарный объект - систему с несколькими иерархическими уровнями, например, конкретный организм; - пространство состояний - естественную иерархию, частью которой является данный объект, например, биологическую иерархию: ... молекулы, клетки, организмы, популяции, сообщества, биосфера...; - унификацию способов изменчивости естественных систем - замены элементов на уровнях строения объекта; - метаболические часы - количество замененных элементов некоторого эталонного объекта.

Для перехода к уравнениям метаболического движения необходимо некоторое обобщение субституционной конструкции. И дело здесь в том, что при формализации естественные системы обычно описываются структурированными множествами. Так, экологическое сообщество из особей различных видов удобно описывать структурой множества с разбиениями, где классы разбиения соответствуют слагающим сообщество популяциям. Понятие близости-удаленности точек в эмпирическом пространстве описывается

топологической математической структурой. Совокупность состояний атома можно описать векторами бесконечномерного Гильбертова пространства или равносильным образом - полем бесконечных матриц.

Применение именно структурированных множеств особенно важно для систем, составленных из нескольких сортов элементов или подсистем одного иерархического уровня. К таким системам относятся все биологические системы. Например, жизнедеятельность клетки связана с заменами молекул многих химических элементов, скорости обмена которых весьма различны. В качестве метаболических часов клетки может быть выбран, так называемый "лимитирующий элемент" или сумма молекул всех сортов, что удобно в них - и не подходит для других случаев. Клетки организма дифференцированы, и скорости замены клеток различных тканей, подсистем или органов совсем неодинаковы. Таким образом, замены каких клеток - эпителиальных, нейронов, или эритроцитов - отсчитывают биологический возраст животного?

Субституционный подход подразумевает умение подсчитывать количество элементов в объектах. Поэтому при использовании субституционного подхода для множеств со структурой требуется обобщение на них понятия "количество элементов". В математике создан язык для описания произвольных структурированных множеств. Это теория категорий и функторов.

Обобщение понятия "количество" на структурированные множества приводит от кардинальных (в частности, натуральных количеств) к структурным числам. Однако структурные числа лишь частично упорядочены. Дальнейшее обобщение количественных характеристик на языке теории категорий приводит к методу функторного сравнения структур (Левич, 1982; 1989б, 1991). Функторные инварианты структурированных объектов позволяют предложить L -компонент динамической теории. Этот компонент формируется в виде экстремального принципа (Levitch, 1988; Левич, 1991): из заданного состояния X системы осуществляется переход в то состояние A , для которого энтропия $H^X(A)$ максимальна в пределах, допускаемых доступными системе ресурсами среды. Энтропия систем вычисляется через функторные инварианты структуры системы. При известном функционале-энтропии - вариационные процедуры позволяют вывести уравнения и траектории обобщенного движения системы.

В силу экстремального принципа значение энтропии системы не убывает вдоль реальных траекторий системы. Т.е. последовательность реальных состояний, или естественная эволюция системы, упорядочена значениями ее энтропии. Таким образом, энтропия играет роль параметрического времени системы, монотонного относительно ее метаболического времени. Наряду с метаболическим временем энтропия может формировать T -компонент теории.

Пример приложения описанной методологии к получению динамических уравнений в экологии сообществ разобран подробно в предшествующих работах автора (Левич, 1980; 1982; 1989б; 1991; Levitch, 1988).

Литература

1. АБАКУМОВ В.А. Длина и частота поколений. - Тр. ВНИРО. 1969. т.67. с.344-356.
2. АКЧУРИН И.А. Единство естественнонаучного знания. М.: Наука. 1974.
3. АЛЕКСЕЕВ В.П. Вектор времени в таксономическом континууме // Вопр.

- антропологии. 1975. вып.49. с.66-77.
4. БАУЭР Э.С. Теоретическая биология. М.-Л.: Изд-во ВИЭМ. 1935. 206 с. Время и современная физика. М.: Мир. 1970. 152 с.
 5. ГОЛОВАХА Е.И., КРОНИК А.А. Психологическое время личности. Киев: Наук. думка. 1984.
 6. ГУРВИЧ А.А. Митогенетическое измерение биологических систем как показатель регулирующего взаимодействия молекулярного и клеточного уровней // Успехи современной биологии. 1986. т.101. вып.3. с.390-397.
 7. ГУРВИЧ А.Г. Теория биологического поля. М.: Сов. наука. 1944. 153 с.
 8. ДАНЧАКОВ В.М. Некоторые биологические эксперименты в свете концепции времени Н.А.Козырева / И.А. Еганова. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск. 1984. Депонировано ВИНТИ. No 6423-84. с.99-134.
 9. ДАНЧАКОВ В.М. ЕГАНОВА И.А. Микрополевые эксперименты в исследовании воздействия физического необратимого процесса. Новосибирск. 1984. Депонировано ВИНТИ. No 8592-B87. с.110.
 10. ДЕТЛАФ Т.А. ДЕТЛАФ А.А. Безразмерные критерии как метод количественной характеристики развития животных // Математическая биология развития. М. 1982. с.25-39.
 11. КАЗНАЧЕЕВ В.П. МИХАЙЛОВА Л.И. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. Новосибирск: Наука.
 12. КОЗЫРЕВ Н.А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд // Известия крымской астрофизической обсерватории. 1948. вып.1. с.1-43.
 13. КОЗЫРЕВ Н.А. Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии. Часть 2. // Известия крымской астрофизической обсерватории. 1950. вып.6. с.54-83.
 14. КОЗЫРЕВ Н.А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково. 1958. 88 с.
 15. КОЗЫРЕВ Н.А. Причинная механика и возможности экспериментальных исследований свойств времени // История и методология естественных наук. Вып.2. Физика. М.: МГУ. 1963. с.95-113.
 16. КОЗЫРЕВ Н.А. Человек и природа // Архив Н.А.Козырева. Пулково. 1975.
 17. КОЗЫРЕВ Н.А. Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени // Вспыхивающие звезды. Ереван. 1977. с.209-227.
 18. КОЗЫРЕВ Н.А. Время как физическое явление // Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. Рига: ЛатГУ. 1982. с.59-72.
 19. ЛЕВИЧ А.П. Структура экологических сообществ. М.: Изд-во МГУ. 1980. с.181.
 20. ЛЕВИЧ А.П. Теория множеств, язык теории категорий и их применение в теоретической биологии. М.: Изд-во МГУ. 1982. с.190.
 21. ЛЕВИЧ А.П., РЕВКОВА Н.В., БУЛГАКОВ Н.Г. Процесс "потребление-рост" в культурах микроводорослей и потребности клеток в компонентах минерального питания // Экологический прогноз. М.: Изд-во МГУ. 1986. с.132-139.
 22. ЛЕВИЧ А.П. Время как изменчивость естественных систем и как способ ее параметризации. Рукопись депонирована ВИНТИ. No 7599-B89. М.: ВИНТИ 1986. с.101.
 23. ЛЕВИЧ А.П. Метаболическое время естественных систем // Системные исследования. Ежегодник. 1988. М.: Наука. 1989а. с.309-325.
 24. ПРИГОЖИН И. От существующего к возникающему. М. 1985. с.326.

25. СВИРЕЖЕВ Ю.М., ПАСЕКОВ В.П. Основы математической генетики. М. 1982.
26. СИМАКОВ К.В. Теоретические основы подразделения геологического времени // Геология и геофизика. 1977. No 4. с.49-57.
27. УИТРОУ Дж. Естественная философия времени. М.: Прогресс. 1964. с.431.
28. ХАРЛЕНД У.Б., КОКС А.В., ЛЛЕВЕЛЛИН П.Г., ПИКТОН К.А.Г., СМИТ А.Г., УОЛТЕРС Р. Шкала геологического времени. М. 1985. с.139.
29. LEVITCH A.P. What are the Possible Theoretical Principles in the Biology of Communities? // "Lectures in theoretical biology". Tallinn: Valgus. 1988. 121-128.
30. POINCARÉ M. "La Mesure de Temps" // Revue de Metaphysique et de Morale. 1898. t. VI, p.1-13 (см. книгу: Принцип относительности. М. 1973. с.12-21).