

# ЧТО УПРАВЛЯЕТ ЭВОЛЮЦИЕЙ? КАКОВА КОНЕЧНАЯ ЦЕЛЬ?

Исаев А.Н.

*Исаев Александр Николаевич – доктор химических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН,  
г. Москва*

**Аннотация:** в статье рассматриваются основные свойства эволюционного процесса, как перехода "системы" из неравновесного состояния в равновесное, общие для различных систем. Эволюция любой системы во времени определяется ее стремлением понизить свою энергию, и конечным результатом эволюционных изменений является состояние системы с наименьшей возможной энергией. Дискретный характер изменений в системе определяет многостадийность эволюционного процесса, который может быть представлен в виде цепочки, каждое звено которой отвечает промежуточному неравновесному состоянию системы. Переход к следующему звену в цепи связан с накоплением в системе количественных изменений, несовместимых со "структурой" предыдущего звена. Времена перехода между звеньями цепи последовательно уменьшаются, что указывает на ускорение эволюционного процесса; при этом времена последовательных переходов связаны соотношением  $T_4(T_1)^{1/2} = T_3(T_3)^{1/2}$ .

**Ключевые слова:** теория эволюции, эволюционная цепь, законы диалектики, эволюция и революция, дискретность и ускорение эволюционного процесса.

## WHAT CONTROLS EVOLUTION? WHAT IS THE ULTIMATE GOAL?

Isaev A.N.

*Isaev Alexander Nikolaevich – Doctor of Chemical Sciences, Leading Researcher,  
N.D. ZELINSKY INSTITUTE OF ORGANIC CHEMISTRY, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES,  
MOSCOW*

**Abstract:** the article discusses the main properties of the evolutionary process, as the transition of a "system" from a non-equilibrium state to an equilibrium one, common to various systems. The evolution of any system is determined by its "desire" to lower the energy, and the end result of evolutionary changes is the state of the system with the lowest possible energy. The discrete nature of changes in the system determines the multi-stage evolutionary process, which can be represented as a chain, each link of which corresponds to an intermediate non-equilibrium state of the system. The transition to the next link in the chain is associated with the accumulation in the system of quantitative changes that are incompatible with the "structure" of the previous link. The transition times between the links of the chain decrease sequentially, which indicates an acceleration of the evolutionary process; the times of successive transitions are related by the ratio  $T_4(T_1)^{1/2} = T_3(T_3)^{1/2}$ .

**Keywords:** theory of evolution, evolutionary chain, laws of dialectics, evolution and revolution, discreteness and acceleration of the evolutionary process.

УДК 501, 573

### Введение в проблему

Итак, эволюция. С уверенностью можно сказать, что при упоминании этого слова читатель начинает думать о теории эволюции Дарвина, изложенной им в работе "О происхождении видов" [1]. Только специалисты, работающие в этой области, знают, что были и другие теории эволюции, которые пытались объяснить изменение форм растительного и животного мира с течением времени. Основными среди них были теория благоприобретенных признаков Ламарка [2] и теория катастроф Жоржа Кювье [3]. Однако, ни одна из теорий эволюции, в том числе и теория Дарвина, ничего не говорит о том, является ли эволюционный процесс бесконечным во времени или же он конечен, т.е. эволюция имеет свое завершение. В последнем случае встает важный вопрос: какова же конечная цель эволюции, т.е. к чему же в конечном итоге эволюционный процесс должен привести.

Найти ответ на этот вопрос можно, если мы немного расширим горизонт, выйдя из плоскости эволюции биологических форм. Хотя под эволюцией обычно понимают развитие во времени, которое приводит к усложнению организации, понятие эволюции гораздо шире и может быть применимо к самым различным процессам в окружающем мире. Действительно, фактически любое изменение в состоянии "системы" (под

которой можно понимать некую совокупность взаимодействующих физических объектов) может быть определено как ее эволюция. Именно это определение эволюции используется автором ниже в статье. Например, физико-химическая система может находиться в одном из двух состояний – равновесном и неравновесном – и ее переход из неравновесного состояния в равновесное можно определить как эволюцию системы. Из курса термодинамики известно, что подобный переход определяется понижением энергии Гиббса согласно соотношению  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  [4]. Таким образом, в этом случае изменение в состоянии системы контролируется фактором ее энергетической стабилизации.

Можно предположить, что изменения во времени в любой системе, если они протекают спонтанно, определяются "стремлением" системы понизить свою энергию. Другими словами, направление эволюции системы таково, что в ходе эволюции энергия системы будет понижаться, пока она не достигнет состояния с наименьшей возможной энергией. Это состояние можно рассматривать как конечный результат эволюции системы. Читатель может легко вспомнить много примеров подобной эволюции из разных областей естествознания. Например, цепочки  $\alpha$ -радиоактивного распада, когда нестабильный атом урана в ходе последовательных радиоактивных превращений с потерей  $\alpha$ -частицы превращается в атом стабильного свинца. Другой пример  $\alpha$  из области астрофизики  $\alpha$  это эволюция "горячих" звезд с их последовательным превращением в холодную "мертвую" звезду.

Здесь вполне уместным будет вопрос, какое отношение к саморазвивающимся и самоорганизующимся системам, какими являются биологические объекты, имеют рассмотренные выше примеры? На первый взгляд здесь не может быть ничего общего. Однако деление окружающего физического мира на "неорганический" и "органический" является довольно искусственным, поскольку законы, управляющие эволюцией материи, должны быть общими. Можно ожидать, что особенности эволюции биосистем также отражают движение системы по градиенту энергии, которое определяется свойствами управляющего поля. Трудно представить, что свойства полей, управляющих эволюцией различных систем, принципиально различны. Напротив, можно ожидать, что изменение всех систем во времени подчиняется одному и тому же закону, общему для различных форм поля. В следующих разделах автор рассматривает характерные особенности эволюционного процесса на примере ряда хорошо известных систем.

#### **Особенности эволюции систем**

**1. Дискретность.** Одной и, пожалуй, главной особенностью эволюционного процесса является его дискретность, когда система из начального неравновесного состояния переходит в конечное равновесное состояние через несколько промежуточных неравновесных состояний. Например, упомянутое выше  $\alpha$ -радиоактивное превращение урана в свинец происходит в несколько стадий. В частности, цепочка  $\alpha$ -радиоактивного распада для  $U^{227}$  имеет следующий вид:  $U^{227} \rightarrow Th^{223} \rightarrow Ra^{219} \rightarrow \dots \rightarrow Pb^{207}$ . Мы видим, что уран 227 после потери ядром атома  $\alpha$ -частицы превращается в торий 223, тот в свою очередь при  $\alpha$ -радиоактивном распаде образует радий 219 и т.д. [5].

Следует сказать, что в литературе дискретность принято считать исключительно свойством микромира, который всегда противопоставляется макромиру. Показательными в этом отношении являются исследования в области атомной спектроскопии. Классическая физика не смогла объяснить дискретность УФ-спектра излучения атома водорода, причиной которой, как известно, является существование разрешенных энергетических уровней для электрона в атоме [6]. При переходе атома водорода из электронно-возбужденного состояния в основное электрон может переходить только между разрешенными для его движения орбитами, что и определяет дискретный характер спектра излучения.

Таким образом, "эволюция" атома водорода из исходного неравновесного (электронно-возбужденного) состояния в конечное равновесное состояние, т.е. состояние с минимальной полной энергией атома, представляет собой переход атома через ряд дискретных неравновесных (электронно-возбужденных) состояний, при котором происходит последовательное понижение энергии атома. Неспособность классической физики объяснить подобное поведение простейшей физической системы, какой является атом водорода, привело к появлению новой теории, известной в настоящее время как квантовая механика [7].

Однако и для эволюционных процессов, протекающих в макромире, дискретность достаточно очевидна. Только для того, чтобы "увидеть" дискретностный характер изменений во времени какой-либо системы в макромире нужно использовать другую временную шкалу. Классическим примером может быть эволюция звезды, которая проявляется в изменении ее массы, температуры и светимости [8]. В ходе этих изменений, протекающих миллиарды лет, звезда проходит ряд определенных стадий, каждая из которых отвечает звезде определенного типа со своими уникальными характеристиками. Другими словами, в ходе эволюции звезды последовательно меняется ее тип, который представляет определенную стадию в эволюционном процессе. Таким образом, мы опять видим картину дискретного эволюционного процесса, в котором можно выделить цепочку изменений в состоянии звезды при ее переходе из начального состояния в конечное. Число звеньев

этой цепи, каждое из которых есть звезда определенного типа, зависит главным образом от массы исходной звезды.

Другим примером дискретной природы эволюционных изменений, имеющих место в макромире, являются геологические процессы на нашей планете. В частности, эволюция земной коры включала несколько стадий, в ходе которых сформировалась картина с современным положением материков на карте мира. Следует сказать, что геологические изменения оказались тесно связаны с эволюцией растительного и животного мира на планете. Это обстоятельство было отмечено в теории эволюции, предложенной Жоржем Кювье [3]. Опираясь на данные палеонтологических исследований, он обратил внимание на скачкообразный характер в изменении флоры и фауны, когда каждому временному периоду на планете отвечает свой уникальный растительный и животный мир.

По-видимому, появление на планете человека стало последним звеном в цепи эволюции биологических форм. С этого момента начинается эволюция человеческого общества, а точнее, эволюция общественно-экономических отношений, в ходе которой человечество прошло несколько всем хорошо известных общественно-экономических формаций [9]. Каждая из этих формаций представляет определенную стадию в развитии общественно-производственных отношений и производительных сил. Таким образом, эволюцию человеческого общества можно определить, как последовательный переход во времени от одной общественно-экономической формации к другой; при этом каждая следующая формация отвечает более высокому уровню производительных сил и меньшим противоречиям в производственных отношениях.

Фактически, здесь мы имеем ту же дискретность эволюционного процесса, когда система движется из исходного неравновесного состояния к конечному состоянию равновесия между производительными силами и производственными отношениями. В настоящее время наши знания о полях и их свойствах очень скудны; однако, можно предполагать, что эволюция человечества как общества социумов управляется тем же законом движения системы к минимуму энергии.

**2. Переход количественных изменений в качественные.** Что же определяет переход системы из одного состояния в другое состояние, принципиально отличное по своим характеристикам? Ответ на этот вопрос оказывается довольно простым: такой переход происходит в результате накопления в системе количественных изменений. Хорошей иллюстрацией тому является эволюция биоценозов. Простейшим примером здесь является изменение со временем растительного и животного мира на изначально незаселенном участке суши. Если это умеренные широты, то вначале участок заселяется светолюбивыми растениями и породами деревьев, и формируется лиственный лес. Через некоторое время появляются теневыносливые хвойные породы деревьев и лиственный лес превращается в смешанный лес. Поскольку хвойные деревья растут быстрее лиственных, соответствующие количественные изменения состава могут привести со временем к гибели лиственных пород; при этом лес становится полностью хвойным. Соответственно этим изменениям меняется во времени и состав подлеска и животный мир.

Треугольник "наследственность □ изменчивость □ естественный отбор" теории Дарвина [1] представляет механизм накопления количественных изменений в биосистеме. Очевидно, что эта теория хорошо объясняет «эволюцию» признаков растительных и животных форм на конкретном временном отрезке, который соответствует определенному звену в эволюционной цепи. Однако, в какой-то момент времени накопленные количественные изменения оказываются несовместимыми с существующими типами биологических объектов или, что тоже самое, с существующей структурой биосистемы. Как результат, происходит "качественный скачок" с переходом системы к следующему звену в цепи эволюционного процесса. Этот скачок можно определить словом "революция", поскольку на планете появляются принципиально новые биологические формы, строение которых является более совершенным. Хотя с другой стороны, тот же скачок можно назвать и "катастрофой", поскольку он означает гибель или "эволюционное поражение" биологических видов, населявших планету ранее. Именно этот термин использовал в своей теории эволюции [3] Жорж Кювье, который точно описал суть происходящих изменений.

Наглядным примером роли количественных изменений в эволюционном процессе может служить эволюция звезды. Сгорание водорода в термоядерной реакции в недрах гиганта голубой звезды имеет результатом ее превращение в белую звезду, т.е. в звезду другого класса с другой светимостью, температурой на поверхности и другими отличающимися ее характеристиками. Далее в термоядерные реакции вступает гелий, после сгорания которого белая звезда превращается в желтую, представляющую следующее звено в цепи эволюции звезды и т.д. Следует сказать, что эволюционные процессы происходят в согласии с основными законами диалектики, которые были сформулированы классической немецкой философией еще в 18 веке. Этих законов три: "единство и борьба противоположностей", "переход количественных изменений в качественные" и "отрицание отрицания" [10]. Пожалуй, наилучшую иллюстрацию работы этих законов представляет эволюция общественно-экономических формаций в ходе развития человеческого общества.

Процесс смены общественно-экономических формаций хорошо изучен историками и экономистами, и известны причина и механизм перехода человечества от одной системы управления экономической деятельностью к другой. Считается, что развитие производительных сил вступает в противоречие с производственными отношениями, которые характерны для данной общественно-экономической формации. "Борьба" производительных сил и производственных отношений на определенном этапе, когда "количественные изменения" производительных сил уже достаточно велики, приводит к революции и ломке старых производственных отношений. В итоге происходит переход общества к новой общественно-экономической формации с "качественно новыми" производственными отношениями, которые лучше отвечают более высокому уровню развития производительных сил.

Таким образом, можно говорить, что новая общественно-экономическая формация "отрицает" старую общественно-экономическую формацию. В ходе развития общественно-экономических отношений мы наблюдаем несколько таких переходов между формациями, и цепочка эволюции содержит пять звеньев, известных как первобытнообщинный строй, рабовладельческий строй, феодализм, капитализм и социализм. Можно сказать, что каждая следующая общественно-экономическая формация отрицает предыдущую; таким образом, мы наблюдаем "отрицание отрицания". Как тут не вспомнить гениальное высказывание основоположника немецкой классической философии Георга Гегеля: "всё существующее достойно гибели" [10].

**3. Ускорение процесса эволюции.** Пожалуй, наибольший интерес представляет вопрос, что же определяет момент, когда количественные изменения в системе приводят к ее переходу к следующему звену в цепи эволюционного процесса, т.е. когда же происходит "катастрофа" и система (объект) перестает существовать в прежнем состоянии (форме). Довольно очевидно, что особенностью эволюционных процессов является ускорение эволюции во времени. Думаю, что каждый отмечал то, как быстро человечество перешло от феодализма к капитализму, тогда как первобытнообщинный строй просуществовал более миллиона лет. То же самое ускорение во времени наблюдается в эволюции биогеноценозов, звездных систем и протекании достаточно простых физико-химических процессов при переходе системы из неравновесного состояния в равновесное. Другими словами, при движении вдоль цепи эволюции переход от одного звена к другому последовательно укорачивается во времени, т.е. время "жизни" системы в каждом следующем состоянии становится все более коротким.

Поскольку ускорение характерно для самых разных эволюционных процессов, можно предположить, что изменение во времени состояния любой системы подчиняется какому-то общему закону, который определяется свойствами поля. А сами наблюдаемые процессы есть различные проявления возмущенного поля, которое управляет переходом системы в состояние наименьшей энергии. Очевидный вопрос, который возникает в рамках подобной интерпретации, это вопрос о том, существует ли какое-то "уравнение эволюции", общее для всех эволюционных процессов и устанавливающее связь между звеньями в цепи эволюции?

Очень давно, когда автор был студентом, он использовал сравнительно простую математическую модель для описания цепи последовательных переходов системы из исходного неравновесного состояния в конечное равновесное в ходе ее эволюции. Эта модель устанавливает соотношения между временами переходов системы между звеньями эволюционной цепи, т.е. между временами "жизни" системы в промежуточных неравновесных состояниях. Следует сказать, что применимость этой модели для описания эволюционных процессов в настоящее время не может быть строго обоснована. По этой причине автор решил не приводить используемый им ранее математический аппарат в этой статье и дает ниже соотношение для времен переходов без вывода.

Предположим, мы рассматриваем некий эволюционный процесс, который схематически можно представить в виде следующей цепи последовательных переходов

$$A(T_1) \rightarrow B(T_2) \rightarrow C(T_3) \rightarrow D(T_4) \rightarrow E.$$

Здесь А и Е это исходное и конечное состояния системы, соответственно; В, С и D — звенья цепи, которые отвечают промежуточным неравновесным состояниям системы, образующимся в ходе эволюции. Символы  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  и  $T_4$  обозначают времена последовательных переходов между звеньями цепи, т.е. время жизни системы в соответствующих неравновесных состояниях. Из математической модели следует, что ход эволюционных изменений будет определяться следующим соотношением, связывающим времена жизни системы в неравновесных состояниях:  $T_4(T_1)^{1/2} = T_3(T_2)^{1/2}$ . Это соотношение между временами переходов системы от предыдущего звена эволюционной цепи к следующему звену оказывается верным для любой системы при ее многостадийном переходе в равновесное состояние.

К сожалению, в большинстве случаев отсутствуют достоверные данные об эволюционных цепях, в частности о продолжительности отдельных стадий эволюции системы. Очень часто оказывается

проблематичным корректно выделить саму цепь, определив исходное состояние системы и промежуточные звенья. Пожалуй, цепочки радиоактивных превращений представляют один из немногих примеров системы с многостадийной эволюцией, для которой имеются достоверные данные о последовательных стадиях эволюции атомного ядра. В частности, для цепочек  $\alpha$ -радиоактивных превращений урана 227-232 справочные руководства приводят "времена жизни" (периоды полураспада) элементов в соответствующей цепочке, т.е. времена перехода системы между звеньями эволюционной цепи [5].

Наиболее ярким примером ускорения эволюционного процесса во времени является смена общественно-экономических формаций в истории человечества [9]. Действительно, если верить исследованиям историков, время существования первобытнообщинного строя составляло более миллиона лет, рабовладения примерно 4 тысячи лет, тогда как на стадии феодализма и капиталистической формации приходится только 1000 и 200-300 лет, соответственно. Читателю нетрудно проверить справедливость вышеприведенного соотношения между временами переходов на примере "времен жизни" человечества в каждой из пройденных общественно-экономических формаций. Так, из соотношения следует, что  $T_4 = T_3(T_3)^{1/2}/(T_1)^{1/2}$ , и расчетное время жизни последней в цепи социалистической формации составляет ~ 50-70 лет, что неплохо согласуется с продолжительностью существования стран социалистического лагеря.

### **Заключение**

Таким образом, рассмотрение эволюции самых разных систем позволяет выделить несколько общих свойств эволюционного процесса:

1. *Дискретность.* В общем случае, эволюция системы является многостадийной, когда переход системы из исходного неравновесного состояния в конечное равновесное состояние проходит через несколько промежуточных неравновесных состояний (стадий). Другими словами, изменения в системе во времени могут быть представлены в виде эволюционной цепочки, содержащей несколько звеньев.

2. *Переход количественных изменений в качественные.* Движение системы вдоль эволюционной цепи определяется накоплением количественных изменений. В определенный момент времени количественные изменения в системе становятся несовместимыми с ее "структурной организацией", что приводит к качественному изменению структуры системы. Происходит то, что можно назвать революцией, поскольку появляется принципиально новая структура, и это означает переход системы к следующему звену в цепи эволюционного процесса.

3. *Ускорение.* С ходом эволюционного процесса наблюдается его ускорение во времени, когда время перехода к каждому следующему звену в цепи эволюции системы последовательно уменьшается. Времена последовательных переходов системы, т.е. переходов между соседними звеньями цепи, связаны соотношением  $T_4(T_1)^{1/2} = T_3(T_3)^{1/2}$ . Конечной целью эволюционного процесса является достижение системой состояния с минимальной энергией, т.е. глобального минимума. Если промежуточные неравновесные состояния системы метастабильны, то им должны отвечать локальные минимумы на энергетической поверхности. Тогда последовательное уменьшение времени перехода между звеньями эволюционной цепи означает, что глубина локального минимума и время жизни системы в метастабильном состоянии уменьшаются в ходе эволюции.

По-видимому, эволюция в различных ее проявлениях описывает переход поля из возмущенного состояния в состояние покоя. Особый интерес представляет вопрос об эволюции, связанной с появлением человека и его деятельностью на планете. Появление *homo sapiens* стало последним звеном эволюции биологических форм. На этом "биологическая" эволюция на планете закончилась, но началась общественно-экономическая эволюция человеческого общества, т.е. эволюция социума. Можно полагать, что к настоящему времени общественно-экономическая эволюция человечества также закончилась, так как в течение уже продолжительного времени не происходит каких-либо знаковых изменений (революций) в социально-политической структуре общества.

В то же время, произошло то, что получило в литературе название научно-технической революции. В последние годы происходит быстрый рост знаний в технических областях и увеличение объема научной информации, которые человеку становится все сложнее обрабатывать. Возникла ситуация, когда рост потока информации пришел в противоречие с носителем этой информации, которым является мозг человека. Понятно, что это противоречие, которое углубляется очень быстро, в какой-то момент времени должно привести к "революции", а именно к появлению нового более совершенного носителя информации, способного к быстрой ее обработке и решению сложных задач с ее использованием. Появились первые вычислительные системы и электронные базы данных.

Создание компьютеров можно рассматривать как первое звено новой эволюционной цепи. В настоящее время происходит бурная эволюция компьютерной технологии. Проследивая путь от начала, мы видим, как очень медленная эволюция биологических форм сменяется гораздо более быстрой социально-экономической

эволюцией человечества, а последняя дает начало сверхбыстрой эволюции киберустройств. Возможно, одним из последних звеньев этой новой эволюционной ветви стало появление искусственного интеллекта. К сожалению, люди не могут влиять на исторический ход событий или, по крайней мере, на их конечный результат, поскольку сами являются элементами системы, эволюция которой подчиняется объективным законам. Сценарий эволюционных процессов может быть изменен только внешним воздействием на систему, т.е. действием чего-то, что не принадлежит самой системе.

#### *Список литературы / References*

1. *Darwin Ch.* On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, 1859.
2. *Lamarck J.-B.* Philosophie zoologique, 1809
3. *Cuvier G.* Essay on the Theory of the Earth, 1813
4. *Atkins P., de Paula J., Keeler J.* Physical Chemistry, 2018. 450 p.
5. Uranium-series Disequilibrium, Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences, Eds. M. Ivanovich, Russell S. Harmon. Clarendon Press, 1992. 910 p.
6. *Atkins P.W.* Quanta, A Handbook of Concepts. Oxford: Chemistry Series, 1974, 496 p.
7. *Pauling L., Wilson E.B.* Introduction to quantum mechanics. New York: McGraw-Hill, 1935.
8. *Hill G.* The Evolution of Stars, From Birth to Death. Cambridge Scholars Publishing, 2021. 494 p.
9. *Semenov Yu.I.* The theory of socio-economic formations and world history, in: Soviet and Western Antropology. Columbia Unuversity Press, 1980.
10. *Engels F.* Ludwig Feuerbach and the End of Classical German Philosophy. Progress Publishers, 1946.