

**Р.Е. РОВИНСКИЙ**

## **САМООРГАНИЗАЦИЯ, КАК ФАКТОР НАПРАВЛЕННОГО РАЗВИТИЯ**

В 70-х годах XX века появилось понимание того, что существует природное явление, названное самоорганизацией материи. Это понимание явилось прямым следствием фундаментального факта – установления необратимости большинства известных науке природных процессов, протекающих как в макро-, так и в микромире. Как писал по этому поводу И.Пригожин [1], необратимость приводит к глубоким изменениям понятий пространства, времени и динамики.

Самоорганизация – важнейший фактор образования качественно новых свойств вещества, нарастания степени порядка (упорядоченности) в определенных развивающихся системах. Порядок может возникать как результат внешнего, силового воздействия на открытую систему, нас же будут интересовать процессы возникновения и углубления порядка в открытых неравновесных развивающихся системах под влиянием внутренних причин. Именно такие процессы названы самоорганизацией, которая предстает в качестве движущей силы, обеспечивающей наблюдаемый в нашем мире направленный характер развития определенных систем.

Поскольку речь зашла о развитии, то необходимо отметить те принципиальные изменения, которые произошли в научных взглядах на подобные процессы, протекающие в мире.

Двадцатые годы двадцатого столетия стали звездным периодом космологии. В этот период появились теоретические и наблюдательные обоснования расширения Вселенной, что привело к смене космологической парадигмы, а вместе с ней и к существенному изменению научного мировоззрения. Вместо бесконечной в пространстве и времени Стационарной Вселенной возникла Развивающаяся Вселенная, имеющая свою историю от «рождения» до наших дней и далее. На базе новых представлений о закономерностях протекающих в Природе процессов развития начала формироваться современная естественнонаучная концепция развития. Основные черты этой концепции рассматриваются в [2].

В сложившихся к концу XIX века, казалось бы, незыблемых научных представлениях о Стационарной Вселенной, конечно же, присутствовал элемент развития, но в своеобразной форме. С определенными оговорками космологи рассматривали такую Вселенную как изолированную систему, не обладающую «внешней средой» и поэтому не обменивающуюся с ней энергией и веществом. А процесс развития любой изолированной системы предопределен вторым началом классической термодинамики: любые события в такой системе сопровождаются деградацией высших форм энергии, их необратимыми переходами в энергию самой низшей формы, в тепловую энергию, которая равномерно распределяется между элементами системы. При этом ранее случайно возникшие упорядоченности разрушаются и, в конечном счете, система приходит в самое простое свое состояние – в состояние полного термодинамического равновесия, которое можно назвать хаосом. В прошлой концепции развития предполагалось, что хаос является базовым состоянием материи. Таким образом, процесс развития Стационарной Вселенной – это однонаправленный процесс умирания. Отсюда в те времена возникло представление о «тепловой смерти» Вселенной.

Прежде чем обсудить те изменения, которые внес в такие представления факт существования Развивающейся Вселенной, уточним смысл употребляемого нами понятия «материя», рассматриваемого как философскую категорию. Для физика, профессионально изучающего явления, протекающие в реальном мире, столь абстрактное понятие лежит за пределами его компетенции. Физик охотно удовлетворяется разъяснением, данным еще Аристотелем: в реальном мире материя неотделима от формы, в которой она реализуется, так же как форма неотделима от материи. Физике сегодняшнего дня известны две основополагающие формы

материи, наблюдаемые в нашем мире: это *вещество* и *физический вакуум*. По определению вещество – это реальные поля и сопряженные с ними реальные частицы (дуализм волновых и корпускулярных свойств). Вещество, в свою очередь, предстает либо в форме частиц (полей), называемых фермионами, либо в форме частиц (полей), называемых бозонами. Эти две разновидности форм вещества в классическом приближении, то есть при переходе от микромира к макромиру, наблюдатель воспринимает как атомарное вещество (фермионы) и излучения (бозоны), прежде всего электромагнитные. Благодаря такому разделению становится возможным проявление особенностей нашего вещественного мира.

Физический вакуум представляет собой материальную среду, принципиально отличную от вещества, хотя очень тесно с ним связанную. Для краткости в дальнейшем я буду употреблять просто термин вакуум, подразумевая, что речь не идет о техническом вакууме. В квантовой механике вакуум определяют как среду, в которой отсутствуют реальные частицы, но которая обладает минимальной плотностью энергии. Такую, казалось бы, парадоксальную среду физики описывают как квантовые поля, амплитуды которых совершают флуктуирующие колебания около нулевого значения и порождающие при этом сопряженные с полями так называемые виртуальные частицы, время существования которых чрезвычайно мало. Не вдаваясь в излишние подробности, отмечу два принципиально важных обстоятельства. Во-первых, по всем признакам вакуум является базовой формой материи в мире. Он способен в определенных состояниях порождать вещество, формирует основные свойства частиц и характер их взаимодействий друг с другом. Во-вторых, материальная сущность вакуума проявляется в физических экспериментах и не вызывает у физиков сомнений.

Развитие расширяющейся вещественной Вселенной, состоящей из атомарного вещества и излучений, протекает иначе, чем это представляется в стационарной модели. Такая Вселенная предстает как открытая (а не изолированная) система, она обменивается энергией и веществом с вакуумом, который следует рассматривать в качестве ее «внешней среды». Чтобы понять особенности процесса развития, необходимо реконструировать исторический путь, пройденный Вселенной от «начала» до сегодняшнего дня. Космологи сумели выполнить такую реконструкцию, опираясь на три фундаментальные основы: во-первых, на наблюдательные данные астрономии и астрофизики; во-вторых, на современную теорию гравитации – общую теорию относительности; в-третьих, на физику высоких энергий, позволяющую описывать процессы трансформации вещества при изменении состояния среды в ходе расширения. А идейной основой реконструкции стала наиболее продвинутая сегодня гипотеза Горячей Вселенной или “Большого Взрыва” [3].

Детализация этой гипотезы дает следствия, которые уже теперь можно проверить по данным наблюдений. Так, теория Большого Взрыва естественным образом объясняет тот факт, что современная Вселенная на 98% состоит из водорода и гелия, и в этой смеси доля гелия лежит в пределах от 22 до 28%. Разработка гипотезы позволила теоретикам выделить основные фазы развития ранней Вселенной, расчетным путем оценить продолжительность каждой фазы и выявить те изменения, которые происходили с вакуумом и веществом на протяжении каждой фазы. В частности, модель горячей Вселенной предсказывает, что исходное вещество в момент «рождения» Вселенной существовало в самых простых своих формах, которые могли присутствовать только при невообразимо высокой температуре, порядка  $10^{27}$  К, и при предельно возможной плотности, называемой планковской плотностью,  $10^{94}$  г/см<sup>3</sup>. Такие температуры и плотности в современной Вселенной астрономы не находят, тем более они не могут быть созданы в лабораториях. По мере расширения вещественного сгустка происходило снижение его температуры и уменьшение исходной плотности, что стимулировало протекание процессов усложнения исходных форм вещества. В результате примерно через 3 минуты после «начала» образовались ядра водорода (протоны), а затем и ядра гелия, что позволило в дальнейшем возникнуть водородно-гелиевой Вселенной [3].

Наконец, подтвердилось важнейшее предсказание о возникновении реликтового излучения как неизбежного следствия Большого Взрыва, и о тех изменениях, которые претерпело

это излучение за прошедшие миллиарды лет. Это открытие считается решающим доводом в пользу гипотезы Горячей Вселенной.

В 70-е годы теория Большого Взрыва дополнилась так называемой теорией инфляционной (раздувающейся) Вселенной, позволившей практически вплотную приблизиться к «началу» и даже объяснить физическую природу «первотолчка», положившего начало ее рождению и расширению [4]. Все это дало основание одному из соавторов теории Большого Взрыва, лауреату Нобелевской премии по физике Стиву Вайнбергу так подытожить сложившуюся ситуацию:

“Мы уже подошли к тому рубежу, когда для нас становится посильным обсуждение природы материи и истории Вселенной вплоть до температур порядка планковской (т.е. почти до самого «начала» Р.Р.), однако мы еще не достигли такого уровня понимания, чтобы полностью доверять всем деталям полученных результатов” [3].

Итак, есть все основания отнести с доверием к тем представлениям об общем характере протекания процессов развития в расширяющейся Вселенной, которыми располагает современная наука. На основе этих представлений можно утверждать, что исходное состояние родившейся Вселенной было самым простым и наименее упорядоченным из всех ее последующих состояний. По мере расширения и остывания Вселенной в ней шли процессы усложнения элементов, образования систем, нарастания упорядоченности в них, одновременно исходное однообразие вещества и протекающих процессов сменялось нарастающим их разнообразием. Чтобы убедиться в сказанном, достаточно кратко перечислить ключевые состояния, достигавшиеся в ходе расширения Вселенной от начала до наших дней. В результате Большого Взрыва возник очень горячий и чрезвычайно плотный сгусток протовещества, в котором невозможно обнаружить различия между частицами, а процесс расширения сгустка определен кинетикой и тормозящим гравитационным взаимодействием частиц. По мере снижения температуры и плотности проявляются различия между кварками, лептонами и бозонами, последовательно возникают и вступают в действие три другие (помимо гравитации) фундаментальные взаимодействия между частицами – сильное, слабое и электромагнитное. Эти преобразования привели через три минуты после «начала» к иному составу сгустка вещества. Теперь он содержит огромное количество фотонов и нейтрино с небольшой добавкой протонов, нейтронов и электронов. Еще через полчаса часть протонов соединяется с нейтронами, образуя ядра гелия. Примерно через несколько сотен тысяч лет после «начала» температура снижается до 3000К, электроны без помех соединяются с протонами и ядрами гелия, образуя атомы водорода и гелия (с очень малой добавкой дейтерия). Свободные электроны в сгустке исчезают, прекращается их взаимодействие с фотонами, что означает отделение излучения от атомарного вещества. Так появляется реликтовое излучение, заполняющее все пространство Вселенной. До этого момента вещественный сгусток характеризовался высокой степенью однородности. Но дальше наступает резкое качественное изменение, в нем начинается образование разномасштабных структур. Через 1-3 миллиарда лет после «начала» водородно-гелиевая Вселенная предстает как вполне упорядоченная структурированная система. Возникла иерархия структур – сверхскопления галактик, скопления галактик, отдельные галактики разных типов и в них звезды разных типов. Все структуры этой иерархии представляют собой открытые крайне неравновесные системы.

Образование структур открывает возможность протекания процессов нарастания упорядоченности, но не во Вселенной, как целом, а в отдельных ее подсистемах. Развитие подсистем любого масштаба обладает определенной долей автономии, чем определяется индивидуальный путь их развития, но все составные части Вселенной взаимосвязаны и взаимозависимы. Так, в звездах некоторых типов особенности протекания нуклеосинтеза приводят к образованию элементов, более тяжелых, чем водород и гелий. Эти звезды имеют укороченное время жизни, через десяток миллионов лет они взрываются, выбрасывая в межзвездную среду практически все элементы таблицы Менделеева. Звезды следующих поколений содержат добавку к исходному составу водорода и гелия таких тяжелых элементов.

По оценкам астрономов, содержание тяжелых элементов в современной Вселенной достигает примерно 2% от общей массы вещества. Благодаря этому возле некоторых звезд (например, типа Солнца) образуются группы «тяжелых» планет типа Земля, на которых существуют условия для протекания геологической и химической эволюции, способной перейти в биохимическую эволюцию вплоть до появления жизни и порождаемого ею разума, наиболее высокоупорядоченного продукта процесса развития в Природе. Следует отметить, что в подсистемах Вселенной наблюдаются периоды созидательного развития, во время которых упорядоченность нарастает, но они сменяются периодами господства разрушительных тенденций, приводящих систему к полной деградации. Однако гибель системы не проходит бесследно, как правило, она вносит свой вклад в возникновение новых условий для роста упорядоченности в последующих системах. Так, взрыв звезды, в которой образовались тяжелые элементы, открывает новые возможности в развитии звезд и планетных систем следующих поколений. В целом же во Вселенной от ее рождения и до сегодняшних дней наблюдается процесс направленного прогрессивного развития, протекающий при господстве созидательной тенденции.

Опираясь на современные научные представления об историческом развитии Вселенной, приходим к главному для нашей темы выводу. Если в концепции развития Стационарной Вселенной рассматривается однонаправленный процесс деградации, в Развивающейся Вселенной имеет место противоположная направленность: наряду с разрушительной тенденцией в ней проявляет себя созидательная тенденция, которая господствует. Процесс развития Вселенной протекает от исходного хаоса к нарастающей степени упорядоченности. Следовательно, материи изначально присуща как способность разрушать существующие упорядоченности, что связано со стремлением к достижению равновесных состояний, так и способность созидать упорядоченности все более высоких уровней, проявляющаяся в открытых неравновесных системах, находящихся в процессе развития. До открытия феномена самоорганизации материи оставалась непонятной причина, толкающая системы на путь созидательного развития. С открытием присущей материи способности в определенных условиях наращивать упорядоченность внутри развивающихся систем, иначе говоря, способности к самоорганизации, проявилась причина наблюдаемого направленного развития.

Широкое толкование «самоорганизации» предполагает изначально присущую материи способность создавать и поддерживать в открытых системах крайне неравновесные состояния. Из таких состояний в определенных (критических) условиях совершаются скачкообразные переходы (похожие на известные физике фазовые переходы) в качественно новые состояния с более высоким уровнем упорядоченности, чем в исходном состоянии. Узкое толкование этого термина подразумевает сам процесс скачкообразного перехода в качественно новое упорядоченное состояние.

Понятие самоорганизации родилось не на пустом месте. В 1944 году в Англии вышла небольшая по объему книга известного физика-теоретика Эрвина Шрёдингера «Что такое жизнь с точки зрения физики?» (русский перевод [5]). Оказывается, с точки зрения физики жизнь проявляет свойства, не укладывавшиеся в физические представления того времени. Во-первых, она противоречит сложившемуся в XIX веке представлению о «естественной» тенденции возврата системы со случайно возникшей в ней упорядоченностью к исходному хаосу. Во-вторых, под воздействием классической статистической физики сложилось убеждение о господстве в мире статистических законов физики. А в важнейших жизненных процессах, протекающих внутри организмов, участвуют сравнительно небольшие группы молекул и атомов, не подпадающих под действие статистических законов, законов больших чисел. Но именно такие процессы обеспечивают высокую организованность всего того, что совершается внутри организмов и в процессах их взаимодействий с окружением. Шрёдингер приходит к выводу, что кроме разрушительной тенденции жизнь проявляет тенденцию к устойчивому поддержанию упорядоченных состояний высокого уровня сложности, а характерные для жизненных процессов законы не являются статистическими.

Примерно через 25 лет после выхода книги Шрёдингера выявились два дополнительных обстоятельства. Во-первых, пришло понимание того, что жизнь способна не только поддерживать как-то возникшие упорядоченные состояния, но и создавать ситуации, при которых осуществляются переходы к все более высоким уровням упорядоченности. Во-вторых, оказалось, что при определенных условиях то же самое может происходить и с объектами неживой природы. На многочисленных примерах (ячейки Бенара в гидродинамике, циклические химические реакции Белоусова-Жаботинского, высокоорганизованное лазерное излучение и многое другое) выяснилось, что самоорганизация широко распространена в нашем мире. Самоорганизующиеся системы удовлетворяют следующим требованиям: 1) открытость, что обеспечивает приток извне энергии, необходимой для перехода в качественно новое состояние; 2) достижение системой состояния сильной неравновесности, при котором она теряет устойчивость; параметры, характеризующие такое состояние, называют критическими; 3) выход из критической ситуации скачком в одно из возможных новых устойчивых состояний. Развитие таких систем характеризуется двумя разными этапами, циклически сменяющими друг друга. Вначале наблюдается относительно продолжительный эволюционный этап, при протекании которого качественное состояние системы не изменяется. Но в ходе этого этапа из-за изменений внешних условий или из-за нарастания внутренних противоречий система переходит в крайне неравновесное состояние и теряет устойчивость. Находиться в критическом состоянии долгое время система не может. Начинается второй, относительно короткий этап ее скачкообразного перехода в качественно новое устойчивое состояние (самоорганизация в узком значении этого термина). В этой связи необходимо отметить, что у сложных систем существует потенциальная возможность перехода в одно из нескольких возможных качественно новых устойчивых состояний. Такое потенциально возможное разветвление пути развития системы называют точкой бифуркации. В которое из возможных конечных состояний совершится переход – дело случая: в точке бифуркации возникают многочисленные флуктуации, и одна из них случайно инициирует переход системы в новое устойчивое положение. Однако после того как переход совершился, возврата назад нет. С этого состояния начинается новый этап эволюционного развития вплоть до следующей точки бифуркации. Сам процесс скачкообразного перехода – это коллективный процесс, при котором составляющие систему элементы, поведение которых до этого было хаотичным, в критической точке обнаруживают способность действовать организованно и взаимосвязано.

Приведу два характерных примера. Если подогревать нижний слой жидкости в канале, то возникают вертикальные хаотические конвекционные потоки, переносящие нагретую жидкость наверх, а холодную – сверху вниз. В гидродинамике известно, что существует критическое значение нагрева нижнего слоя, превышение которого ведет к мгновенной перестройке конвективных потоков, когда бесчисленное множество молекул жидкости “вдруг” начинают действовать совместно, в результате чего организуются регулярные замкнутые циркуляционные потоки. Поверхность жидкости приобретает ячеистую структуру (ячейки Бенара). С точки зрения статистических законов вероятность образования шестиугольных ячеек определенного размера в результате совместного действия миллиардов и миллиардов молекул жидкости почти равна нулю, тем не менее, ячейки устойчиво сохраняются все то время, пока интенсивность подогрева нижнего слоя остается выше критической.

Второй пример более сложен и, возможно, не столь бесспорен. Примерно 4 миллиарда лет назад на Земле возникла система, названная биосферой. Биосфера прошла сложный путь развития от исходных одноклеточных организмов до венчающего этот путь Человека Разумного. Появление человека следует рассматривать, как скачок в ее развитии, поскольку с человеком реализовалось качественно новое состояние биосферы, - возникли разум, мысль. Примерно 50 тысяч лет назад оформился современный человек, и начался эволюционный этап развития человечества как составной части биосферы. На протяжении нескольких тысяч человеческих поколений продолжался в целом эволюционный этап развития этой

системы. Но примерно 5000 лет назад начался и в нарастающем темпе продолжился стихийный процесс видоизменения биосферы под влиянием человеческой мысли и человеческого труда. Используя свое интеллектуальное превосходство над другими представителями животного мира, человек начал приручение животных, окультуривание растений, он стал менять окружающий мир, приспособлявая его к своим нуждам. Он охватил своей жизнью и своей культурой практически всю верхнюю оболочку Земли. Этот процесс резко ускорил свой темп в последние три-четыре столетия. Развитие сельскохозяйственной, а затем и бурной промышленной деятельности привело к ситуации, когда биосфера своими силами оказалась не в состоянии противостоять последствиям этих процессов. Наступил кризис в развитии биосферы как системы. Биосфера пришла в точку бифуркации и ей предстоит выйти скачком в качественно новое состояние. В геологических масштабах времени скачок является коротким процессом, но в масштабах человеческой жизни он может протекать на протяжении нескольких поколений. Из возникшего кризиса существует возможность перехода биосферы в несколько возможных качественно новых устойчивых состояний. Среди этих состояний есть благоприятный для человечества переход, но есть и неблагоприятные переходы. Однако обсуждение данной кризисной ситуации выходит за рамки нашей темы, поэтому вернемся к проблеме самоорганизации.

Последующее изучение феномена самоорганизации показало, что все разномасштабные самоорганизующиеся системы, независимо от раздела науки, в котором они исследуются, совершают переход из кризисного состояния в качественно новое устойчивое состояние, следуя единому алгоритму. Это обстоятельство позволяет разработать единое теоретическое описание самоорганизации любых открытых неравновесных систем. Начиная с 60-х годов, ведется работа по созданию универсальной теории самоорганизации. Сразу же наметились три разных подхода к описанию переходного скачка от исходного неустойчивого состояния системы к устойчивому качественно новому ее состоянию, в том числе и состоянию с более высоким уровнем упорядоченности, чем в исходном положении. Это разрабатываемая Г.Хакеном Синергетика (синергизм буквально переводится как совместное действие), Математическая теория катастроф, основатель - математик Р.Том, и Термодинамика неравновесных процессов во главе с И.Пригожиным.

В предисловии к своей основополагающей книге «Синергетика» Г.Хакен так определил предмет разрабатываемой им теории [6]: «Синергетика занимается изучением систем, состоящих из многих подсистем самой различной природы, таких как электроны, атомы, молекулы, клетки, нейроны, механические элементы, фотоны, органы животных и даже люди <...> Мы сосредоточим внимание на тех ситуациях, когда структуры возникают в результате самоорганизации и попытаемся выяснить, какие причины управляют процессами самоорганизации безотносительно к природе подсистем».

Синергетика рассматривает возникновение упорядоченных макроструктур как рождение коллективных типов поведения огромного числа входящих в макроструктуру элементов. Такие типы поведения, называемые модами, возникают в системе под действием флуктуаций в момент потери системой устойчивости. Моды конкурируют между собой, и выживает та форма, которая оказывается наиболее приспособленной к внешним условиям. Хакен полагает, что здесь проявляется некий обобщенный дарвинизм, действие которого распространяется не только на органический, но и на неорганический мир. Однако, в этом своем заключении Хакен был не прав, самоорганизация принципиально отличается от дарвиновского понимания эволюции.

В точных науках теория считается состоявшейся, если создан математический аппарат, способный адекватно описывать изучаемые процессы и предсказывать их конечные результаты при задаваемых исходных условиях. В случае самоорганизации требуется обеспечить математическое описание поведения открытой системы в период потери устойчивости и скачкообразного ее перехода в одно из возможных качественно новых устойчивых состояний. При решении такой задачи возникают следующие трудности. Прежде всего, скачок – это нелинейный процесс, сопровождаемый разрывом функции. Описать скачок (как и фазо-

вый переход в физике) возможно лишь на основе нелинейного математического аппарата, который в готовом виде отсутствует. Ситуация осложняется еще и тем, что необходимо учесть случайно возникающие в критический момент флуктуации и их влияние на конечный результат. Хакен разработал такой аппарат в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений, названных им «эволюционными уравнениями». В уравнениях учитываются внешние факторы, толкающие систему к переходу, это потоки энергии и вещества, а также случайные непредсказуемые факторы, определяющие «выбор» одного из возможных конечных состояний. Получился довольно сложный математический аппарат, пользование которым сопряжено с большими и не всегда преодолимыми трудностями.

Первоначальной сферой приложения Синергетики была квантовая электроника и радиофизика, области профессиональных интересов Хакена. В этой теории методы и понятия термодинамики не используются, поскольку основные положения классической (равновесной) термодинамики к открытым неравновесным системам неприменимы.

Для математического описания физических процессов, сопровождаемых разрывами функций (скачками), французский математик Р. Том на базе топологической теории динамических систем создал основы Теории катастроф. Существенный вклад в развитие теории сделал В.И. Арнольд, благодаря чему стали возможными некоторые важные практические ее приложения. Содержание теории и практические приложения изложены в книге Арнольда [7], предназначенной для нематематиков. Катастрофами называют скачкообразные переходы, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий. Соответственно, теория катастроф дает универсальный метод исследования любых скачкообразных переходов, разрывов, внезапных качественных изменений. Самоорганизация – это одно из типичных проявлений подобных событий. Сегодня теория катастроф успешно решает задачи, связанные с определением предельной прочности конструкций, с протеканием автоколебаний и циклических химических реакций, с поведением оптических каустик и волновых фронтов. Однако серьезные трудности возникают при попытках распространения этой теории на биологические объекты и социальное сообщество людей. В [8] перспектива успешного приложения теории катастроф к этим научным дисциплинам оценивается так: «Организованная сложность биологии представляется наиболее вероятным объектом изучения на следующем, “промежуточном” этапе, но здесь уже может понадобиться вся теория динамических систем (имеющая теорию катастроф лишь малой, хотя и существенной составляющей). Организованная сложность социальных систем вряд ли будет хорошо понята, пока мы не освоимся как следует с биологическими системами».

Термодинамический подход добавляет новые детали, важные для понимания проблемы самоорганизации, поскольку самоорганизация тесно связана с проблемой необратимых процессов, протекающих в мире. Выяснилось, что необратимые процессы не только доминируют в природе, но именно они играют конструктивную роль в развивающихся открытых неравновесных системах, иначе говоря, в самоорганизующихся системах. В сравнительно недавнем прошлом в среде ученых господствовало мнение, что необратимость – это идеализация обратимых процессов, вызванная невозможностью точного задания начальных условий, определяющих все последующее развитие событий в конкретной системе. Иначе говоря, будущее развивающейся системы однозначно заложено в ее прошлом, но без знания начальных условий выявить его не удастся. Исключение составляют простейшие системы, например, движения планет по орбитам, но даже в этих случаях невозможно уверенно говорить о длительных промежутках времени. Однако, как пишет Пригожин [1], в неустойчивых динамических системах невозможно задать начальные условия, которые привели бы к одинаковому будущему для всех степеней свободы. А это означает, что будущее не входит составной частью в прошлое.

В своей Нобелевской лекции [9] Пригожин так формулирует задачу, вставшую перед создателями неравновесной термодинамики:

“В теоретической химии и физике возникло новое направление, находящееся в самом начале своего развития, в котором термодинамические концепции будут играть еще более важную роль <...> Чтобы разработать термодинамику самоорганизующихся структур необ-

ходимо показать, что неравновесие может быть причиной порядка. Оказалось, что необратимые процессы приводят к возникновению нового типа динамических состояний материи, названных мною «диссипативными структурами»<sup>7</sup>. Под термином «диссипативные структуры» Пригожин подразумевает образование некоторой формы супермолекулярной организации, возникающей в результате коллективного действия элементов системы.

Решить такую задачу в рамках классической (равновесной) термодинамики невозможно, поскольку эта дисциплина приложима к изолированным системам, находящимся в состоянии термодинамического равновесия или близком к такому состоянию. В этих системах самоорганизация реализовываться не может. Возникла необходимость создания новой, неравновесной термодинамики. Основы такой научной дисциплины заложены брюссельской школой термодинамики, возглавляемой И.Пригожиным. С изложением основных идей неравновесной термодинамики, решенных и нерешенных проблем, можно ознакомиться в [9], основательное изложение теории дано в книге [10]. Но для нашей темы наибольший интерес имеют идеологические аспекты проблемы необратимости, термодинамической устойчивости, представлений о бифуркации, флуктуациях и о «стреле времени» применительно к открытым неравновесным самоорганизующимся системам. Относящиеся к этому научному направлению идеи излагаются Пригожиным в [1,11].

В соответствии с новыми научными представлениями потребовалось частично пересмотреть и уточнить ряд основополагающих понятий, в том числе имеющих отношение и к неравновесной термодинамике. Так, понятие сложности может употребляться в двух смысловых значениях. Можно говорить о сложности или простоте одних элементов или систем относительно других. В [2] отмечалось, что систему следует считать сложной относительно составляющих ее элементов, если она приобретает качества, не присущие ни одному из этих элементов. Например, соединение протона с электроном образует атом водорода. Атом обладает химическими и оптическими свойствами, чего нет ни у протона, ни у электрона. Следовательно, атом сложен относительно протона и электрона, а эти элементы просты относительно атома. В микромире сегодня различают иерархию четырех уровней сложности микроэлементов. Это кварковый, нуклонный, атомный и молекулярный уровни. Сложность нарастает от кваркового к молекулярному уровню. В макромире выделяются свои уровни нарастающей сложности.

Однако, более важное значение в контексте нашей темы приобретает второе смысловое значение сложности, определяемое как *сложное поведение*. Анализ этого понятия (с многочисленными конкретными примерами) посвящена книга Николиса и Пригожина [11]. Сложное поведение определяется этими авторами как способность системы осуществлять переходы между различными режимами. Тем самым возникновение сложного поведения прямо связывается с понятиями необратимости и бифуркации. Процесс развития системы предстает как необратимое движение от одной точки бифуркации к другой. Между двумя точками бифуркации протекает детерминированный эволюционный период развития, а в точке бифуркации дальнейшую судьбу системы решает случай. Создается новое представление о соотношении случайного и закономерного в этом мире.

Одна из центральных проблем, затрагиваемая Пригожиным в рамках неравновесной термодинамики, – проблема необратимости времени. В классической термодинамике необратимость времени вытекает из второго начала, имеющего эмпирическую основу, оно получено при изучении процессов, протекающих в системах, подчиняющихся статистическим законам. Необратимость процессов, протекающих в таких системах, распространяется и на время. В результате возникает, по образному определению Эддингтона, «стрела времени», его однонаправленность. Самоорганизация не подпадает под действие статистических законов, и формально на нее не распространяется действие второго начала. Но в процессе протекания самоорганизации имеет место однонаправленность времени, и это обстоятельство требует обоснования. Пригожин видит возможность обосновать направленность времени в неравновесных самоорганизующихся системах за счет признания универсальности второго начала, его фундаментальности. Предлагается постулировать второе начало как фундамен-

тальный физический факт, подобно тому, как Эйнштейн принял постоянство скорости света в качестве фундаментального физического факта. Далее необходимо выяснить, к каким изменениям в наших представлениях о пространстве, времени и динамике приводит распространение такого постулата на самоорганизующиеся системы. Пригожин пишет: “Имеются веские основания утверждать, что принятие второго начала в качестве фундаментального постулата влечет за собой глубокие изменения в наших представлениях о пространстве, времени и динамике, а, в конечном счете, – в нашей оценке места, занимаемого человеком в природе, и старой философской проблемы существующего и возникающего” [1].

Краткий обзор трех направлений, по которым совершается разработка универсальной теории самоорганизации, показывает следующее. Как подчеркивают сами создатели теорий, мы находимся в начале пути, и впереди предстоит серьезная работа, прежде чем будут достигнуты завершающие результаты. Но уже теперь видно, что поднят огромный пласт проблем, в которых физические и философские аспекты нового понимания мироустройства сливаются, создавая основу современного научного мировоззрения, современной научной концепции развития в природе.

Анализ современной научной картины мира, проведенный, в частности, в [2], приводит к выводу, что новая научная концепция развития в самом сжатом виде выражается трехчленной формулой: **системность, динамизм, самоорганизация.**

Системность означает общий системный подход, основанный на том, что в доступной наблюдению области Вселенная предстает как самая крупная из известных науке систем. Современные открытия разрушили прошлые представления об этой системе, как о случайном статичном скоплении объектов, обладающих той или иной степенью упорядоченности. Выяснилось, что Вселенная – высокоорганизованная направленно развивающаяся система, имеющая свою историю от начала до наших дней и далее. На определенном этапе своего развития Вселенная породила иерархию разномасштабных открытых подсистем, характеризующихся неравновесными состояниями относительно окружающей среды. И хотя каждая подсистема (галактика, звезда, Солнечная система, планета, биосфера, человек и т.д.) обладает определенной автономностью и собственным путем развития, все они взаимозависимы и остаются неотъемлемой частью целого.

Динамизм означает невозможность существования открытых неравновесных систем вне развития, вне движения. Хотя философская идея о невозможности существования материи вне развития не нова, только в XX веке она обрела вполне осязаемую сущность. Нестационарное решение уравнений общей теории относительности применительно к Вселенной, полученное А.Фридманом, выяснение того обстоятельства, что только такое решение устойчиво, последующее наблюдательное открытие расширения Вселенной и ее поступательного развития – все это наглядно показало невозможность существования нашего мира вне развития. И это относится не только к Вселенной, как целому, но и к каждой закономерно возникавшей ее подсистеме.

О самоорганизации все основное было сказано выше. Применительно к открытым системам конкретное проявление этого феномена зависит от уровня сложности системы и условий, в которых протекает ее развитие. Но во всех случаях самоорганизация проявляется в критических точках развития, в точках бифуркации. Участием самоорганизации объясняют направленный характер развития как Вселенной в целом, так и отдельных ее подсистем.

Напрашиваются естественно возникающие вопросы: что лежит в основе самоорганизации, какими средствами обеспечиваются ее созидательные функции, в результате чего появляется направленность развития отдельных систем?

Пытаясь ответить на первый вопрос, мы можем лишь сказать, что самоорганизация – это изначально присущее материи свойство. Ученые наблюдают его проявления в экспериментах, но объяснение, возможно, появится позже, когда будет достигнуто более глубокое, чем сегодня, знание о природе вещества и вакуума. Несколько лучше обстоит дело с ответом на второй вопрос. Проявление самоорганизации зависит от уровня сложности и условий развития конкретных открытых неравновесных систем. На каждом уровне сложности и

упорядоченности развитием системы управляют силы, казалось бы, разной природы, но в их основе проявляются четыре фундаментальные силы. Так, на субъядерном уровне сильное (цветовое) взаимодействие объединяет кварки в адроны, а слабое взаимодействие выполняет функцию фракционирования. На ядерном уровне сильное взаимодействие в облике ядерных сил объединяет нуклоны в ядра, слабое взаимодействие выполняет разрушительную функцию в облике радиоактивного распада. На атомном уровне функции объединения и распада переходят к электромагнитным взаимодействиям в форме притяжения разноименных и отталкивания одноименных электрических зарядов. На молекулярном уровне электромагнитные силы выполняют те же функции в облике короткодействующих химических и ван-дер-ваальсовских сил. Объединение и фракционирование макроструктур Вселенной опирается на гравитационные и электромагнитные силы. В основе любых других самых сложных форм происходящих в мире процессов объединения частей и распада структур обнаруживаются все те же четыре фундаментальные силы. Однако, эти силы сами по себе не определяют направленного характера протекающего развития.

Самоорганизация, опираясь на фундаментальные природные силы, не может выполнять функцию движущей силы поступательного развития материи без участия информации, с которой она тесно связана. Высокоорганизованные направленно развивающиеся системы, а именно такими видит наука сегодняшнего дня Вселенную, биосферу, человеческое сообщество и другие, должны содержать в себе информационную модель будущего. Пока науке удалось расшифровать одну такую модель – генный механизм, определяющий биологическое развитие всех земных живых организмов. Существуют признаки моделей будущего в некоторых других системах. Не исключено, что в недалеком будущем наука узнает информационные механизмы, обеспечивающие направленное развитие других высокоорганизованных открытых систем. Многозначность возможных продолжений пути развития, с которой система сталкивается в каждой точке бифуркации, роль случайности в «выборе» последующего эволюционного этапа говорят, что информационная модель будущего – это в целом вероятностная модель.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пригожин И., От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках. М.: Наука, 1985
2. Ровинский Р.Е., Развивающаяся Вселенная. М.: 1995;  
Интернет [www.geocities.com/rovinski](http://www.geocities.com/rovinski)
3. Вейнберг С., За рубежом первых трех минут. “Успехи физических наук”, 1981, т. 134, с.333
4. Линде А.Д., Раздувающаяся Вселенная. “Успехи физических наук”, 1984, т.144, с.177
5. Шрёдингер Э., Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: ГИИЛ, 1947
6. Хакен Г., Синергетика. М.: Мир, 1985
7. Арнольд В.И., Теория катастроф. М.: Наука, 1990
8. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф и ее приложения. М.: Мир, 1980
9. Пригожин И. Время, структура и флуктуации (Нобелевская лекция). “Успехи физических наук”, 1980, т.131, с.185
10. Гленсдорф П., Пригожин И., Термодинамическая теория структуры, устойчивости, флуктуаций. М.: Мир, 1975
11. Николис Г., Пригожин И., Познание сложного. М.: Мир, 1990