**Тема 2.2. Развитие синергетики**

**План:**

1. От существующего к возникающему

2. Виды самоорганизации

3. Примеры самоорганизации в неживой природе

4. Примеры самоорганизации в живой природе

5. Самоорганизация в социально-экономических системах

**1. От существующего к возникающему**

В классической физике господствовало убеждение, что материи свойственна тенденция к равновесию, т. е. к равномерному перераспределению энергии в системе и ее хаотизации. Во второй половине XX в. стало ясно, что в природе действуют также законы, приводящие к нарастанию сложности и упорядоченности. Такая ситуация возникает в открытых неравновесных системах.

Наука, изучающая закономерности спонтанных переходов открытых не равновесных систем от менее сложных к более сложным упорядоченным формам организации, получила названии теории самоорганизации или синергетики.

Синергетика (от греч. synergetikos - совместный, согласованно действующий) - научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологической, физико-химической и др.) благодаря интенсивному (потоковому) обмену веществом и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях. В таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности, т. е. уменьшается энтропия (т. н. самоорганизация).

Основа синергетики - термодинамика неравновесных процессов, теория случайных процессов, теория нелинейных колебаний и волн.

Значительный вклад в создание основ синергетики внесли И. Пригожин (Бельгия), А. Тьюринг (Великобритания), Б. П. Белоусов (Россия), Г. Хакен (Германия).

Бельгийский физико-химик русского происхождения Илья Пригожин разработал в 1947 г. основы термодинамики открытых систем (Нобелевская премия по химии 1977 г.). Большой известностью во всем мире пользуется книга И Пригожина «От существующего к возникающему». (В русском переводе вышла в 1985 г.). Советский химик Б. П. Белоусов открыл в 1951 г. самоорганизацию в химических реакциях (реакция Белоусова – Жаботинского). Английский математик А. Тьюринг построил в 1952 г. математическую модель морфогенеза. Он показал, как может возникать чередование соединительных тканей в живых организмах на примере образования областей повышенной концентрации одного из веществ в процессе взаимодействия двух веществ, одно из которых каталитически активно, а другое является ингибитором и обладает большей скоростью диффузии. Немецкий физик Герман Хакен в 70-х гг. прошлого века исследовал процессы самоорганизации в лазерной плазме. Именно Хакен является автором термина «синергетика».

Новизна синергетического подхода состоит в следующем:

– хаос не только разрушителен, но и созидателен;

– для сложных систем, как правило, существует несколько вариантов развития;

– развитие осуществляется через случайный выбор одной из нескольких возможностей дальнейшей эволюции. Следовательно, случайность есть необходимый элемент эволюции.

Многие синергетические идеи родились из биологии. Биологическая эволюция идет по схеме: изменчивость – наследственность – отбор.

Российский ученый Н. Н. Моисеев предложил обобщить эту триаду на все без исключения эволюционные процессы. Так возник основной принцип синергетики – принцип универсального эволюционизма: процессы самоорганизации в открытых неравновесных системах не зависят от их природы, а носят универсальный характер.

**2. Виды самоорганизации**

Рассмотрим кратко известные виды самоорганизации с точки зрения современной классификации.

Диссипативная самоорганизация (классический синергетический подход). При таком подходе дается следующее определение самоорганизации: самоорганизация – это процесс упорядочения (пространственного, временного или пространственно-временного) в открытой системе за счет согласованного взаимодействия множества элементов ее составляющих.

Синергетическая самоорганизующаяся система должна обладать следующими характеристиками:

– она должна быть открытой, т. е. должен присутствовать обмен энергией или веществом с окружающей средой;

– она должна содержать большое число элементов (подсистем);

– должен существовать стационарный режим системы, при котором ее элементы взаимодействуют хаотически (некогерентно).

Процессу самоорганизации в ней присущи следующие признаки:

– интенсивный хаотический обмен энергией с окружающей средой;

– макроскопическое поведение системы описывается одним или несколькими управляющими параметрами;

– существует критическое значение управляющего параметра, при котором система спонтанно переходит в новое упорядоченное состояние;

– новое состояние возникает благодаря согласованному (когерентному) действию элементов системы;

– новое состояние существует при безостановочном потоке энергии или вещества в систему. При увеличении потока энергии система проходит ряд критических переходов, при которых структура усложняется вплоть до возникновения турбулентного хаоса.

Примерами такой самоорганизации являются:

– лазерная среда (пространственное упорядочение);

– конвекция Бенара (пространственное упорядочение);

– реакция Белоусова – Жаботинского (пространственно-временное упорядочение);

– экономические циклы (временное упорядочение).

**Консервативная самоорганизация** В 1987 году Нобелевский лауреат Жан-Мари Лен (Франция) — основатель супрамолекулярной химии ввѐл термины «самоорганизация» и «самосборка», вследствие необходимости описания явлений упорядочения в системах высокомолекулярных соединений при равновесных условиях, в частности образование ДНК.

Супрамолекулярная химия (от лат. supra – над) – это междисциплинарная область науки, изучающая химические, физические и биологические аспекты более сложных, чем молекулы, химических систем.

В рамках этой новой науки оказалось возможным исследовать строение и свойства высокомолекулярных соединений (в частности ДНК), фуллеритов и других наноструктур, процессы кристаллизации. В отличие от процессов синергетической самоорганизации, такие явления происходят вблизи термодинамического равновесия, однако в виде самосборки. Таким образом, равновесные фазовые переходы, например кристаллизация, также представляют собой процесс самоорганизации.

В отличие от самоорганизации сильно неравновесных систем, такую самоорганизацию называют консервативной самоорганизацией.

**Континуальная самоорганизация** (концепция эволюционного катализа), разработанная А. П. Руденко, является альтернативной концепцией самоорганизации для биологических систем. В отличие от когерентной самоорганизации в диссипативных системах с большим числом элементов (макросистем), рассматривается континуальная самоорганизация для индивидуальных (микро-) систем. В рамках данного подхода определяется, что самоорганизация как саморазвитие системы происходит за счѐт внутренней полезной работы против равновесия. Прогрессивная эволюция с естественным отбором возможна только как саморазвитие континуальной самоорганизации индивидуальных систем.

**3. Примеры самоорганизации в неживой природе**

**Реакция Белоусова – Жаботинского.** В 1951 г. советский химик Б. П. Белоусов открыл удивительную реакцию, получившую название «химические часы». В пробирку наливалось небольшое количество лимонной кислоты, бромата калия и сульфата церия (катализатор). И начиналось небольшое чудо: бесцветный вначале раствор желтел, затем снова становился прозрачным, опять желтел и т. д. Колебания цвета происходили с периодом в несколько десятков секунд, причем этот период можно было регулировать, изменяя концентрации исходных реагентов и температуру раствора. Сотрудник Белоусова А. П. Сафронов посоветовал добавить в раствор индикатор (ферроин), и картина стала еще более зрелищной: цвет раствора изменялся с лилово-красного на ярко-синий и наоборот. Очень эффектно выглядит эта реакция, если ее проводить в широком сосуде, например чашке Петри, капнув одним из реагентов на поверхность раствора других компонентов. Тогда реакция начинается в одной точке – ведущем центре – и постепенно, в виде кольцевых или спиральных автоволн, распространяется к краям сосуда (рис. 1).

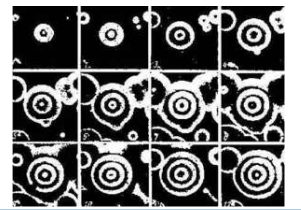
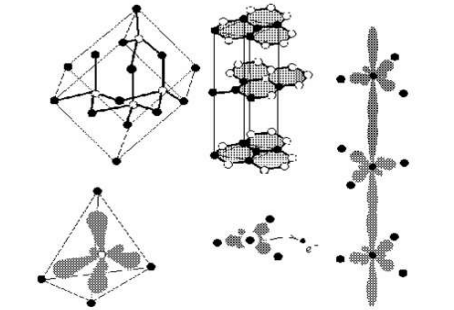


Рис. 1. Автоволны в реакции Белоусова – Жаботинского. Интервалы между кадрами составляют 30 с. (Заикин А.Н., Жаботинский А.М., 1970)

Механизм поддержания колебаний в такой окислительно-восстановительной автокаталитической системе теперь понятен. Имеются две подсистемы с разными временами релаксации: ионы Се3+ (бесцветная окраска) и ионы Се4+ (желтая окраска), как, например, в случае с лимонной кислотой и броматом калия. Необходимые для развития реакции вещества и энергию одна подсистема черпает из другой подсистемы по очереди.

**Рост кристаллов.** Откуда атомы «знают», в каком порядке им надлежит соединиться друг с другом, чтобы создать характерную для данного вещества кристаллическую решетку? Покажем это на примере двух полиморфных модификаций углерода: алмаза и графита.

По своим физическим свойствам это два совершенно разных вещества, хотя они и сложены из одинаковых атомов. Алмаз – диэлектрик, прозрачный и очень твердый. Графит, напротив, хорошо проводит электрический ток, непрозрачный и мягкий. Оказывается, все дело в том, что в кристалле алмаза атомы углерода плотно упакованы, образуя кубическую решетку, а в кристалле графита атомы образуют слоистую решетку гексагональной симметрии (рис. 2).



а б

Рис. 2. Кристаллическая структура алмаза (а) и графита (б).

Рядом показаны атомные орбитали В основном состоянии атом углерода имеет следующую электронную конфигурацию: 1s22s22p2. Два неспаренных валентных электрона, находящиеся в состоянии 2p, не могут образовать четыре связи с валентными электронами соседних атомов (углерод четырехвалентен).

Поэтому кристаллизация алмаза возможна лишь с участием возбужденных атомов углерода, имеющих конфигурацию 1s22s12p3. В алмазе все четыре связи равноценны и тетраэдрически расположены в пространстве. Как же это возможно? Ведь 2s- и 2p-орбитали отличаются друг от друга (s-орбитали имеют сферическую форму «электронных облаков», а р-орбитали – форму гантелей).

Понимание проблемы пришло в 1931 г., когда американские физико-химики Л. Полинг и Дж. Слейтер, а также, независимо от них, американский физико-химик Р. Малликен и немецкий химик Ф. Хунд пришли к выводу, что s- и p-электроны могут находиться в гибридных состояниях, промежуточных между s и p. Гибридные sp-орбитали представляют из себя гантели неправильной формы с сильно развитой одной стороной и едва заметным зачатком другой. Это обеспечивает одинаковость всех четырех связей и устойчивость тетраэдрической конфигурации из атомов углерода в кристалле алмаза.

В графите атомы углерода расположены послойно, в виде структуры из шестиугольных ячеек, причем имеются атомы двух сортов: одни расположены на одной линии, другие – напротив центров ячеек соседнего слоя. Для первой категории атомов характерно образование р - р-связей между слоями. Три валентных электрона атомов второй категории образуют расходящиеся под углом 120º связи посредством sp-гибридных орбиталей с соседними атомами, а четвертый валентный электрон отрывается от атома и становится свободным носителем заряда (металлическая связь).

В условиях неоднородного роста, особенно если он происходит очень быстро, кристаллы редко вырастают совершенными. Чаще всего они образуют при этом дендриты – древовидные сростки.

**4. Примеры самоорганизации в живой природе**

**Самоорганизация в колониях грибов, социальных амеб и бактерий.** Многие плесенеобразующие грибы характеризуются колониальным ростом особи. У одних грибов чаще встречаются зональные структуры, у других имеется тенденция к образованию прерывистых кольцевых зон радиально-симметричного типа или даже в виде лопастей. Причем, в зависимости от условий выращивания (вид субстрата, температура, влажность, световой режим) симметрия колонии может изменяться.

Обычные грибы, растущие в лесу, также часто образуют колонии («ведьмины кольца»), но их форма бывает неправильной из-за неоднородностей лесного субстрата, корней деревьев, вытаптывания и уничтожения мицелия (грибницы) людьми и животными.

Самоорганизованно выросшие грибные кольца похожи на автоволны Белоусова – Жаботинского, однако, в отличие от них, не распространяются от некоторого ведущего центра, а вырастают на постоянном месте. Грибные колонии являются примером континуальной самоорганизации.

Континуальный тип самоорганизации наблюдается также в колониях социальных амеб и бактерий.

**5. Самоорганизация в социально-экономических системах**

**Экономические циклы.** Наиболее распространенным типом самоорганизации, наблюдаемым в социально-экономических системах, является колебательно-волновой тип упорядочения (диссипативная самоорганизация пространственно-временного типа). В экономической литературе для обозначения этого явления чаще всего используется термин «цикл».

Наибольший интерес у экономистов вызывают следующие циклы:

- политико-деловой цикл (4–5 лет), связанный с выборами в органы власти и приурочиванием важных экономических шагов правительства к предвыборной ситуации;

- строительный цикл (цикл Кузнеца, 15–25 лет) – цикл, выявленный американским экономистом украинского происхождения, нобелевским лауреатом С. Кузнецом, который считал, что основной его причиной являются демографические процессы, возрастная миграция населения и связанные с ней колебания в объемах жилищного строительства;

- цикл Кондратьева (45–65 лет), обусловленный сменой техники, внедрением новых технологий и развитием новых отраслей промышленности;

- цикл политического лидерства (100–150 лет), причиной которого является неравномерность экономического развития разных стран, появление новых претендентов на мировое лидерство, обострение борьбы за ресурсы, «жизненное пространство», рынки сбыта и сферы влияния.

Наибольшего размаха достигает цикл Кондратьева (длинные волны Кондратьева или большие волны конъюнктуры). Вывод о существовании таких волн был сделан Н. Д. Кондратьевым в 1922 г. на основе анализа большого числа экономических показателей (индекс цен, государственные долговые обязательства, номинальная заработная плата, показатели внешнеторгового оборота, добыча угля, золота, производство чугуна, стали и т. д.).

Циклы Кондратьева характеризуются фазой подъема и фазой спада. Во время подъема (повышательной фазы) экономика страны находится в состоянии подъема, возникают новые отрасли производства. Затем энергия, затраченная на борьбу за сферы влияния и имеющиеся социально -политические отношения, начинает угасать. Диссипативный процесс замедляет темпы развития, наступает фаза спада (понижательная фаза).

Естественно, что из-за тесной связи экономики с политикой, правом, социумом и т. д. на цикл Кондратьева накладываются другие циклы, причем не только экономические.

Использование методов синергетики в экономике – не дань моде, а насущная потребность выйти за пределы статического анализа квазистационарных состояний. Экономика может и должна стать предметом синергетического моделирования, так как экономика обладает всеми признаками самоорганизующихся систем: сложностью, открытостью, нелинейностью, диссипативностью. Более того, в экономике есть быстрые и медленные параметры. Установлено, что некоторые из медленных параметров ведут себя коллективным образом (синергетически) и могут играть роль параметров порядка при структурных перестройках системы.

Фрактальная (самоподобно дробящаяся) природа экономических циклов и стохастичность колебаний относительно тренда эволюции системы также подтверждает правомочность синергетических методов в исследовании социально-экономических систем. В целом синергетическая экономика представляет собой новое направление в объяснении и прогнозировании экономических процессов.