

САМООРГАНИЗАЦИЯ КАК ОСНОВА ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМ

канд. физ.-мат. наук, доц. Ходова Г.В.

Санкт-Петербургский государственный горный университет
Факультет приборостроения, информационных и электронных систем
Кафедра системного анализа и управления инновациями

Аннотация

Рассмотрены вопросы эволюции открытых систем, находящихся вдали от равновесия, с образованием новых диссипативных структур. Приведены примеры формирования новых пространственных структур в нелинейном бистабильном интерферометре.

Ключевые слова

Самоорганизация, синергетика, нелинейные системы, бифуркация, автосолитон

Abstract

Evolution problems of open systems being located far from equilibrium are considered with new dissipative structures formation. Examples of new space structures formation are given in nonlinear bistable interferometer.

Keywords

Self-organization, synergetics, nonlinear systems, bifurcation, autosoliton

В последнее время имеет место несомненная тенденция использования системного подхода во многих областях науки и техники [1]. Системный подход к изучению объекта предполагает раскрытие целостности объекта, выявление многообразных типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину. Понятие системы становится одним из главных, ищутся пути понимания объектов как систем. Большое значение в этой картине имеет изучение процессов эволюции систем, одним из которых является процесс самоорганизации систем. В современной науке становится все более очевидным, что теория самоорганизации систем имеет междисциплинарное значение [2]. Примеры самоорганизации: цунами, щаровая молния, единичные гигантские волны в

океане, полярные сияния. В теории самоорганизации рассматриваются открытые системы, которые обмениваются с окружающей средой веществом, энергией или информацией.

Немецкий физик Герман Хакен, исследуя процессы, которые происходят в твердом лазере, выяснил, что частицы, составляющие активную среду резонатора, под воздействием внешнего светового поля начинают колебаться в одной фазе. В результате этого между ними устанавливается когерентное (согласованное) взаимодействие, которое в конечном итоге приводит к их кооперативному поведению. Хакен назвал новую дисциплину, исследующую согласованные действия многих элементов систем и общие принципы, управляющие самоорганизацией, синергетикой [3] (в переводе с греческого – совместный). В синергетике исследуются механизмы возникновения новых состояний, структур и форм в процессе самоорганизации.

Согласно второму началу термодинамики, закрытая система постепенно эволюционирует в сторону беспорядка, дезорганизации и увеличению энтропии [4]. Понятие энтропии характеризует ту часть полной энергии системы, которая не может быть использована для производства работы. Поэтому, в отличие от свободной энергии, она представляет собой деградированную, отработанную энергию [1]. Согласно второму закону термодинамики, энтропия в замкнутой системе постоянно возрастает и в конечном счете стремится к своему максимальному значению. Немецкий ученый Л. Больцман стал интерпретировать энтропию как меру беспорядка в системе. Таким образом, второй закон можно было теперь сформулировать так: замкнутая система, предоставленная самой себе, стремится к достижению наиболее вероятного состояния, заключающегося в ее максимальной дезорганизации. К такому равновесному состоянию в соответствии со вторым началом термодинамики приходят все закрытые системы, то есть системы, не получающие энергии извне.

Однако в открытой системе, то есть системе, которая обменивается с окружающей средой веществом, энергией и информацией, дело обстоит совсем не так. При определенных условиях в открытых системах могут возникнуть

процессы самоорганизации в результате получения новой энергии и вещества извне и диссипации, или рассеяния, использованной в системе энергии. Таким образом, ключ к пониманию процессов самоорганизации содержится в исследовании процессов взаимодействия системы с окружающей средой.

Чем сложнее система, тем больше типов флуктуаций, угрожающих ее устойчивости [1]. Но в сложных системах существуют связи между различными частями. От исхода конкуренции между устойчивостью, обеспечивающей связью, и неустойчивостью, возникающей из-за флуктуации, зависит порог устойчивости системы. Превзойдя этот порог, система попадает в критическое состояние, называемое точкой бифуркации. В ней система становится неустойчивой относительно флуктуаций и может перейти к новой области устойчивости, то есть к образованию новой более сложной системы. Малые различия могут привести к крупномасштабным последствиям.

Небольшая флуктуация может послужить началом эволюции системы в совершенно новом направлении, которое резко изменит все ее поведение. В точке бифуркации случайность подталкивает систему на новый путь развития, а после того как один из многих возможных вариантов выбран, вновь вступает в силу детерминизм — и так до следующей точки бифуркации. В судьбе системы случайность и необходимость взаимно дополняют друг друга [1]. Таким образом, главную роль в эволюции окружающего мира играют не порядок, стабильность и равновесие, а неустойчивость и неравновесность [5]. Основными условиями формирования новых структур являются: открытость системы, нахождение ее вдали от равновесия, наличие флуктуации в системе. Новые структуры называются диссипативными, потому что для их поддержания требуется больше энергии, чем для поддержания более простых структур, на смену которым они приходят. Диссипативные структуры существуют лишь постольку, поскольку система диссипирует (рассеивает) энергию и, следовательно, производит энтропию. Из энергии возникает порядок с увеличением общей энтропии. Таким образом, синергетика изучает механизмы взаимодействия в сложных открытых системах с положительной обратной связью, когда изменения, возника-

ющие в системе, не подавляются и корректируются, а, наоборот, постепенно накапливаются и, в конце концов, приводят к разрушению старой и возникновению новой системы.

Отметим роль нелинейности в процессе эволюции систем [2]. Хорошо известно, что линейное уравнение имеет один корень. Уравнения второй, третьей и т. д. степеней имеют два, три и т. д. корня. Совсем простое нелинейное уравнение (например, $\operatorname{tg} x = x$) имеет бесчисленное множество решений. Множеству решений соответствует множество путей эволюции нелинейной системы, то есть такой системы, которая описывается нелинейными уравнениями. Одна и та же система может пойти по одному или качественно иному пути развития. Такое раздвоение “судьбы” системы проходят в точках бифуркаций (бифуркация по-латыни означает раздвоение).

Нелинейность отрицает принцип суперпозиции. Система не просто состоит из подсистем. Целое не равно сумме частей, оно качественно иное. У системы появляются свойства, отсутствующие в подсистемах (свойство эмерджентности). Реакция системы может изменяться не пропорционально приложенному воздействию. Значительные усилия могут приводить к ничтожному результату. В других условиях слабые, но согласованные с системой воздействия приводят к самоускоряющейся ее эволюции. Хаос может возникнуть в полностью детерминированных условиях. В условиях глубокой неравновесности нелинейная система особенно чутка к воздействиям, согласованным с ее внутренними свойствами. Самоорганизующейся системе нельзя навязать путь эволюции, не согласованный с существующими механизмами собственной регуляции, отражающими внутренние потребности развития самой системы. Таким образом, нелинейность – универсальное и фундаментальное свойство мира. Нелинейная картина мира намного сложнее, более объёмная, более многогранная, чем линейная картина мира.

Оптические бистабильные системы относятся к числу открытых нелинейных систем, далеких от термодинамического равновесия, и в связи с этим в них возможны явления самоорганизации различного рода. Примером самоорга-

низации в распределенной оптической нелинейной системе являются волны переключения и дифракционные автосолитоны в нелинейном бистабильном интерферометре, возбуждаемом стационарной плоской волной, распространяющейся вдоль оси интерферометра [6].

Бистабильной называют систему, которая при одном и том же постоянном во времени внешнем воздействии может находиться в одном из двух установившихся состояний. Для систем такого рода обычно характерна S-образная зависимость выходных параметров от входных. Процесс перехода системы из состояния, отвечающего одной из ветвей S-образной зависимости, в состояние, отвечающее другой ветви, называется переключением. При наличии бистабильности оптической системы и учете эффектов пространственной распределенности, связанных с дифракцией излучения, были обнаружены устойчивые пространственные структуры, называемые дифракционными автосолитонами (рис. 1). По вертикальной оси отложена интенсивность излучения, по горизонтальной – поперечная пространственная координата. Кроме того, существует дискретный набор автосолитонов, отличающихся от приведенного шириной, а также периодически изменяющиеся и стохастически изменяющиеся во времени.

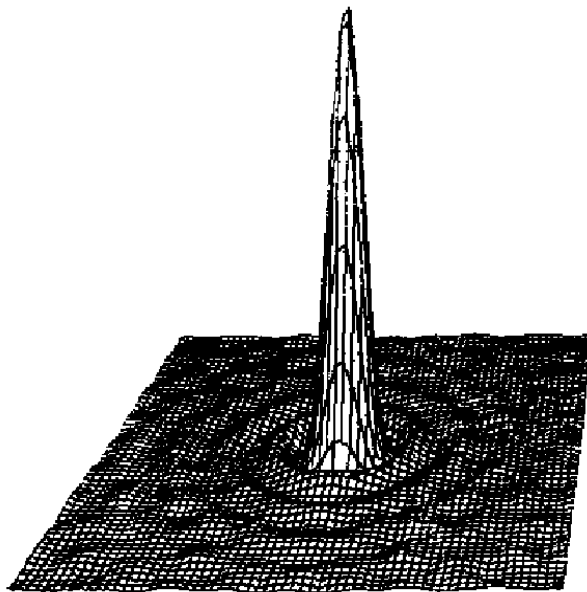


Рис. 1. Дифракционный автосолитон

Автосолитоны могут быть сформированы при столкновении двух волн переключения или из начальной локальной флуктуации поля. В зависимости от величины начальной флуктуации она может со временем рассосаться, образовать устойчивый автосолитон или преобразоваться в движущуюся с постоянной скоростью волну переключения. Следует отметить, что в случае установления стационарного автосолитона его характеристики не зависят от характеристик начальной флуктуации.

При одновременном возбуждении в нелинейном бистабильном интерферометре нескольких автосолитонов они начинают воздействовать друг на друга. Если начальное расстояние между ними мало, то два автосолитона сливаются. При начальных расстояниях больше некоторого критического возможно существование разнообразных наборов автосолитонов как одного, так и различных типов. На рис.2 представлено связанное состояние двух автосолитонов, имеющих различную ширину, в трехмерном случае. Такое связанное состояние движется с постоянной скоростью по прямой, соединяющей центры оснований автосолитонов, в направлении более широкого.

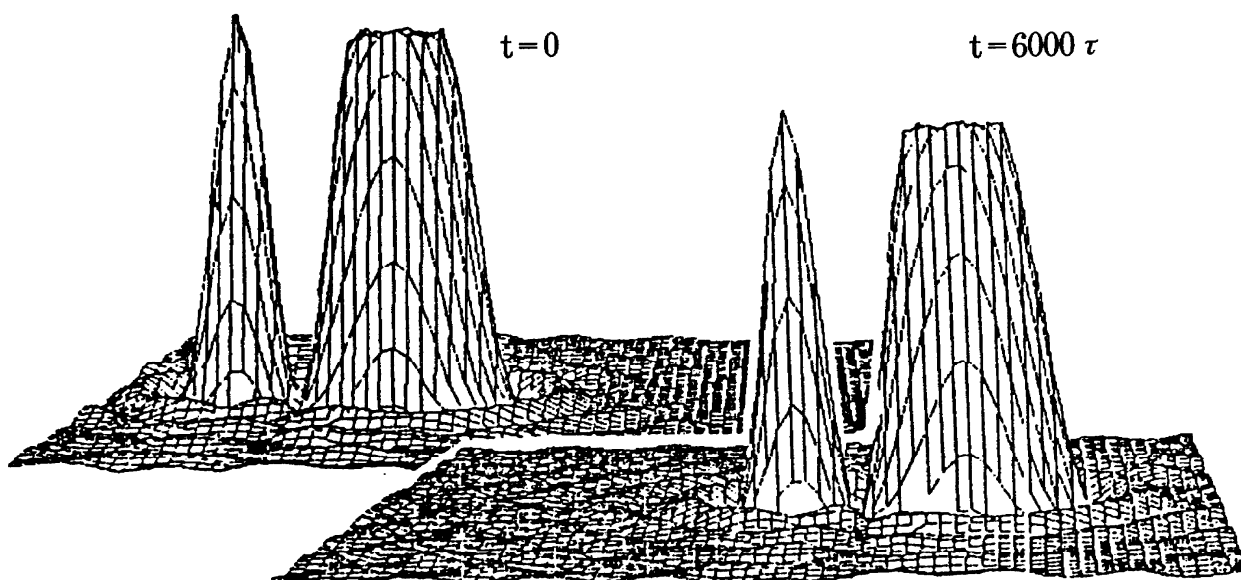


Рис. 2. Связанное состояние двух различных автосолитонов

Следует отметить достаточно общий характер и применимость основных выводов к оптическим бистабильным системам различных типов [7].

Несмотря на существенное отличие эволюции неживой природы от эволюции биологической, между ними существует глубокая аналогия. С этой точки зрения представляется интересным определение жизни, данное известным австрийским физиком Э. Шредингером [1]: “Жизнь – это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время. Средством, при помощи которого организм поддерживает себя на достаточно высоком уровне упорядоченности (равно на достаточно низком уровне энтропии), является энергия, получаемая организмом из окружающей среды с продуктами питания”.

Литература

1. Гусейханов, М.К. Концепции современного естествознания /М.К. Гусейханов, О.Р. Раджабов. – М.: Дашков и К°, 2007. – 540 с.
2. Черногор, Л.Ф. Космос, Земля, человек: актуальные проблемы /Л.Ф. Черногор. – Харьков: ХНУ, 2010. – 192 с.
3. Хакен, Г. Синергетика /Г. Хакен. – М: Мир, 1980. – 404 с.
4. Корольков, Б.П. Термодинамические основы самоорганизации /Б.П. Корольков. – Иркутск: ИрГУПС, 2011. – 120 с.
5. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах /Г. Николис, И. Пригожин. – М: Мир, 1979. – 512 с.
6. Rosanov, N.N., Fedorov, A.V., Fedorov, S.V., Khodova, G.V. – SPIE, 1993, v. 2039, p. 330 – 341.
7. Fedorov, S.V., Khodova, G.V., Rosanov, N.N., Vladimirov, A.G. – Physical Review. E., 2000, v. 61, № 5, p. 5 814 – 5824.

Рецензент проф. Элиаш Е.