*1978 г. Сентябрь* *Том 126, вып. 1*

*УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК*

## БИБЛИОГРАФИЯ

53(049.3)

# СИНЭРГЕТИКА

Synergetics: Proceedings of the International Workshop on Synergetics at Schloss Elmaer. Bavaria. May 2—7, 1977.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1977.— 274 p.

В прошлом году в Западной Германии в городе Шлосс-Элмаере со 2 по 7 мая состоялось международное совещание ученых по синэргетике, которое явилось фактически третьей международной встречей ученых по этой новой области науки. Первый международный симпозиум по синэргетике проходил в Шлосс-Элмаере в 1972 г. [1], затем состоялось международная летняя школа в Эриче (Сицилия) в 1974 г. [2].

Участниками этих международных конференций были ученые, работающие в совершенно различных областях науки: математике, физике, астрофизике, химии, биологии, социологии, экономике и языкознании. Всех их объединила новая область научных исследований — синэргетика (synergetics). В переводе с греческого языка синэргетика означает «совместное действие». Синэргетика исследует самоорганизационное поведение систем, которое приводит к образованию различных структур в этих системах.

Во многих областях науки ученые постоянно сталкиваются с явлениями возникновения макроскопических структур совершенно различного масштаба. Примерами таких структур являются спиральные галактики, наблюдаемые в астрофизике, живые клетки, изучаемые биологией, и т. д.

Синэргетика изучает такие явления, которые приводят к образованию упорядоченных пространственных и временны́х структур, появлению различного рода пульсаций, возникновению сложных структур в виде спиралей, концентрических волн и т. д.

Примером образования пространственных упорядоченных структур являются вихревые ячейки Бенара, которые возникают в слое жидкости при нагревании его, начиная с некоторых температурных градиентов. Родственные явления наблюдаются также при вращении жидкости между коаксиальными цилиндрами, когда, начиная с некоторой скорости вращения, в ней образуются вихревые ячейки Тейлора. Пространственная структура появляется также в химической реакции Жаботинского. Примерами образования временны́х структур служат излучение лазера, а также некоторый класс химических реакций, в которых реагирующая смесь изменяет цвет окраски через строго периодичные промежутки времени.

Другой разновидностью создания в системах сложных структур являются спирали и концентрационные волны, которые исследуются как астрофизикой, где наблюдаются спиральные галактики, так и химией, где они возникают в результате химических реакций.

К числу исследуемых синэргетикой явлений относится также переход от упорядоченного движения к хаотическому и турбулентному движению. С явлениями возникновения турбулентности ученые сталкиваются при исследовании течения жидкости, изучении магнитного поля Земли, а также некоторых химических реакций.

Другой тип явлений, который рассматривает синэргетика, связан с солитонами и солитонными волнами. Солитоны появились в физике как решения некоторых нелинейных волновых уравнений, описывающих те или иные физические процессы. В настоящее время они широко обсуждаются в различных областях физики: теории плазмы, физике твердого тела, астрофизике, физике элементарных частиц и т. д.

Процессы, приводящие к образованию структур, встречаются также и в других областях науки: экологии, социологии, экономике, языкознании и т. д., где возникновение сложных структур складывается в процессе общественного развития. В связи с этим синэргетика пытается также выявить глубокие аналогии в поведении

©Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», «Успехи физических наук», 1978.

систем, которые исследуются как естественными, так и гуманитарными областями науки.

Труды этого международного совещания ученых представляют собой сборник статей и докладов, в которых специалисты различных областей исследуют основные закономерности образования сложных структур.

Сборник открывается обзорной статьей Г. Хейкена, в которой он сформулировал основные положения синэргетики и ознакомил участников совещания с теми явлениями, которые она затрагивает в своих исследованиях.

Важным физическим понятием, которое характеризует упорядоченность структур, является энтропия системы. В своей статье об энтропии и излучении А. Кастлер проследил, как, начиная с первых работ М. Планка и М. Лауэ, в физике было введено понятие энтропии когерентного и некогерентного излучений. И с помощью этих понятий А. Кастлер предлагает выявлять степень возникающего упорядочения в открытых термодинамических системах, подобных лазеру, и следить при этом за тем, как происходит самоорганизационное изменение их структуры.

С некоторой идеализированной математической моделью — теорией катастроф — ознакомил участников совещания Р. Том. Теория катастроф позволяет описывать критические точки различных систем, которые соответствуют качественному изменению свойств в этих системах.

Ряд статей в этом сборнике был посвящен теории бифуркаций. Так, К. Киртчгеснер с помощью некоторых модельных уравнений исследовал бифуркацию континуума неустойчивых мод. Рассматриваемые уравнения соответствовали определенным модельным явлениям бифуркации в динамике жидкости, например, таким, как неустойчивость Бенара и Тейлора. С помощью определенного выборочного принципа ему удалось найти конечное число устойчивых решений. В другой статье Д. Джозеф, основываясь на теоремах факторизации, рассмотрел бифуркации и устойчивости некоторого класса решений, которые получаются в результате раздвоения $T$-периодических решений на субгармонические решения с некоторым фиксированным периодом. Раззитый метод исследования позволяет описать один из режимов течения жидкости, который приводит к возникновению вихрей Тейлора.

В следующей работе по теории бифуркации Д. Сеттингером с помощью теории групп рассмотрена модель конвекции жидкости. При этом, поскольку самоорганизация движения жидкости приводит при определенных температурах к образованию ячеистой структуры, Д. Сеттингер проанализировал устойчивость различных видов решений бифуркационных уравнений ячеистой решетки в виде валков вращения, квадратов, шестиугольников и указал при этом возможные виды устойчивых решений.

Большое внимание на этом международном совещании уделялось проблеме возникновения неустойчивости в динамике жидкости. Очень интересный доклад, посвященный исследованию проблемы перехода к турбулентности в течении жидкости, был представлен Х. Л. Свинни. В этой работе с помощью лазера изучалось движение жидкости между вращающимися цилиндрами. При этом по допплеровскому сдвигу падающего и отраженного лазерного пучка от исследуемого объема жидкости определялась скорость ее движения при различных числах Рейнольдса. Оказалось, что при переходе к турбулентному характеру движения спектр скорости жидкости обнаружил существование нескольких новых динамических областей со своими характерными частотами, которые ранее не удавалось выявить в других экспериментах. Наблюдаемые явления качественно согласуются с идеями Лоренца, Тайкена и Рюэля, которые предполагали, что несколько нелинейных соединенных мод являются необходимым условием для создания апериодического движения. Интересное качественное сравнение явлений неустойчивости Бенара и Тейлора привел в своей статье Е. Л. Кошмайдер.

На некоторые синэргетические аспекты в астрофизике указал Р. Кипенхан в статье о неустойчивости в эволюции, где им приведен краткий обзор эволюции звезд и обсуждены условия, приводящие к возникновению неустойчивостей звезд.

С математической структурой и основными положениями теории солитонов ознакомили участников международного совещания Р. К. Баллоу и Р. К. Дод. В своем докладе они показали, как вводятся солитонные решения для нелинейных волновых уравнений в ряде физических процессов и проиллюстрировали применение солитонов в различных областях физики, таких, как теория плазмы, взаимодействие плазмы с излучением, теория сверхпроводимости, нелинейная оптика и лазерная физика, теория элементарных частиц, теория дислокаций, астрофизика и др.

Некоторая часть докладов на этом совещании была посвящена неравновесным фазовым переходам в химических реакциях. Так, А. Нитзан рассматривал химические неустойчивости как критические явления в системах, характеризующихся наличием множества стационарных состояний.

Химическую кинетику вдали от равновесия исследовал в своей статье А. Пако, где на примере реакций Белоусова — Жаботинского, Бригса — Раума изучались

такие интересные явления, как незатухающие осцилляции, совокупность множества стационарных состояний, различные возбуждения, химическая турбулентность и т. д. В этой же работе с помощью метода Монте-Карло проводилось моделирование различных химических реакций. При этом удалось выявить возникновение пространственных и временных осцилляций в некоторых химических реакциях.

Связь энтропии и критических флуктуаций в стохастической модели неравновесных фазовых переходов обсуждалась в статье Г. Казайковского.

Некоторая часть докладов была посвящена исследованию химических волн и возникновению химической турбулентности. Так, Йо Курамото в своей работе попытался с помощью некоторой математической модели описать образование структур в осциллирующих системах, где одновременно происходит диффузия и протекают химические реакции. При этом исследовалась кинетика возникновения сложных структур в виде круговых спиральных и вихревых волн, а также изучалось образование хаотического движения, частным случаем которого является химическая турбулентность.

Две статьи о химической турбулентности и непрерывном хаосе представил О. Е. Реслер. В одной из них обсуждались различные виды химической турбулентности: турбулентность в сосредоточенных системах, химическая турбулентность в морфогенетических структурах, турбулентность в возмущенных системах и т. д. В другой работе О. Е. Реслер продемонстрировал, как можно получить с помощью различного рода построений сложные тректории из более простых составных частей и как при этом возникает картина хаоса. В качестве примеров им были приведены различные виды дифференциальных уравнений, решения которых приводят к сложным пространственным структурам.

Несколько докладов было посвящено проблемам, связанным с морфогенезисом. Так, Х. Куном в его статье были рассмотрены условия, при которых молекулы, соединяясь вместе, образуют все более сложные функциональные системы. При этом, как удалось выяснить, движущей силой в процессе самоорганизации материи является специфическая структура окружающей среды.

Теорию, основанную на механизмах автокатализа и побочного замедления и применимую к описанию образования упорядоченных распределений вещества изложил в своей стетье Х. Майнхардт. В качестве иллюстрации предложенной им теории сделана попытка рассмотреть образование биологической структуры.

Краткий обзор возникновения регулярно-периодических структур в пространстве представил Х. Ж. Марескель, где он обсудил единообразие образования упорядоченных структур.

Исследованию синэргетических аспектов в биологических системах посвятили свои доклады Ж. Д. Коуэн и Х. Фредлих. Ж. Д. Коуэн попытался найти простейшее изображение работы нейронных сетей. Для этого им была предложена система двух кинетических уравнений, одно из которых описывает кинетику возбуждающейся нейронной структуры, другое — локальную кинетику синоптических изменений. Исследование этих уравнений позволяет сделать ряд интересных заключений о работе нейронных сетей.

Статья Х. Фредлиха посвящена изучению взаимодействия биологических клеток с различного рода вибрациями, которые могут возбуждать внутренние колебания клеток и влиять на процесс мутаций.

Как уже отмечалось, кроме естественных наук возникновению сложных структур уделяют внимание и другие области науки, такие, как социология, экономика, языкознание, лингвистика и т. д. Синэргетическим аспектам в этих областях наук также было посвящено несколько докладов на этом совещании.

О применении синэргетики в деловом администрировании сообщил в своем докладе М. Велдж, где он предлагает использовать синэргетику в качестве критерия для выяснения потенциальных возможностей производства и для выбора соответствующей организационной структуры.

С лингвинистической структурой хромосомного генетического кода языка ознакомил участников совещания Ф. Фрелих. В частности, им была предложена одна из многих возможных систем аналогий между хромосомной информацией и человеческим языком.

По разнообразию представленных на этом международном совещании докладов видно, что формируется новая область научных исследований — синэргетика, которая находит много приверженцев среди ученых различных областей наук. Следует отметить, что в прошлом году вышла первая книга по синэргетике [3]. Попытка с единой точки зрения взглянуть на общие закономерности образования и развития самоорганизующихся структур, совершенно различных по своей природе, несомненно, может принести много нового и интересного в углублении наших знаний об окружающем нас мире.

*Б. Б. Кадомцев, А. И. Рязанов*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Synergetics: Proceedings of an International Symposium on Synergetics. Elmaer, 1972.— Stuttgart: B. G. Teubner, 1973.
2. Cooperative Effects. Progress in Synergetics: Proceedings of a Summerschool at Erice, Sicily.— 1974.
3. Haken H. Synergetics: An Introdaction. Nonequlibrium Phase Transitions in Physics, Chemistry and Biology.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1977.