

Бенара, при подогреве горизонтального слоя жидкости снизу (см. *Бифуркация*). При подогреве снизу плоского слоя жидкости развивается т. н. конвективная неустойчивость, связанная с тем, что молекулярный теплоперенос не в состоянии обеспечить температурный баланс между нагретой ниж. поверхностью и охлаждённой верх. поверхностью слоя. Всплывающий в результате действия архимедовой силы нагретый (более лёгкий) элемент жидкости вытесняет холодную жидкость, заставляя её двигаться вниз. В результате в слое устанавливается стационарное вращение элементов жидкости, к-рое при визуализации выглядит как структура упорядоченно вложенных роликов или валов. Ориентация валов в достаточно большом горизонтальном слое произвольна и зависит лишь от случайных нач. условий. Характерный масштаб зависит от толщины слоя и параметров жидкости. В жидкостях, где существует зависимость параметров от темп-ры, существующие на нач. этапе развития неустойчивости валы с разл. ориентацией в результате эффекта взаимной синхронизации образуют связанное состояние — решётку с шестигранными ячейками. Возбуждения с любыми др. масштабами (отличными от наблюдаемого) подавляются в результате конкуренции.

Параметры установившихся макроскопич. структур не зависят (в нек-рых пределах) от изменения нач. условий. Они определяются лишь свойствами неравновесной диссипативной среды (поля). В этом смысле такие диссипативные структуры естественно назвать *автоколебаниями*.

Др. пример С. — самопроизвольное образование спиральных волн в двумерном хим. реакторе, в к-ром протекает автокаталитич. реакция типа реакции Белоусова — Жаботинского (см., напр., [2]).

Теория С. представляет собой раздел нелинейной динамики неравновесных сред и основывается на сравнительно небольшом числе базовых моделей. Простейший (монотонный) процесс формообразования, установления статич. структур описывается т. н. г р а д и е н т н ы м и м о д е л я м и. Основная их особенность в том, что существует функционал, называемый функционалом свободной энергии, к-рый в процессе эволюции системы может только убывать, достигая при $t \rightarrow \infty$ минимума, соответствующего предельному статич. состоянию. В принципе, число таких минимумов, отвечающих структурам разл. типа, велико (мультистабильность); в неогранич. средах их может быть и бесконечное множество. В зависимости от нач. условий реализуется тот или иной статич. аттрактор системы. Так, напр., для ур-ния Свифта — Ховэнберга

$$\partial u / \partial t = u + \beta u^2 - u^3 - (1 + \nabla^2)^2 u, \quad (1)$$

где параметр β характеризует величину квадратичной нелинейности (являющейся, в частности, моделью конвекции Рэлея — Бенара в горизонтальной ячейке больших размеров при небольших надкритичностях; в этом случае β определяет, напр., степень зависимости вязкости от темп-ры), имеется неск. аттракторов, среди к-рых большой областью притяжения обладает аттрактор, соответствующий правильной решётке с шестигранными ячейками (абс. минимум функционала свободной энергии). В процессе формирования этой решётки в зависимости от нач. условий наблюдаются «метастабильные» структуры (рис. 1).

Помимо подобных структур (типа решёток), для процессов С. характерно также образование локализованных структур (дефекты, дислокации, частицеподобные структуры), к-рые также могут быть описаны в рамках градиентных моделей [5]. Напр., в рамках модели, описываемой ур-нием типа ур-ния (1), но с жёстким возбуждением,

$$\partial u / \partial t = -u + \beta u^2 - u^3 - (1 + \nabla^2)^2 u, \quad (2)$$

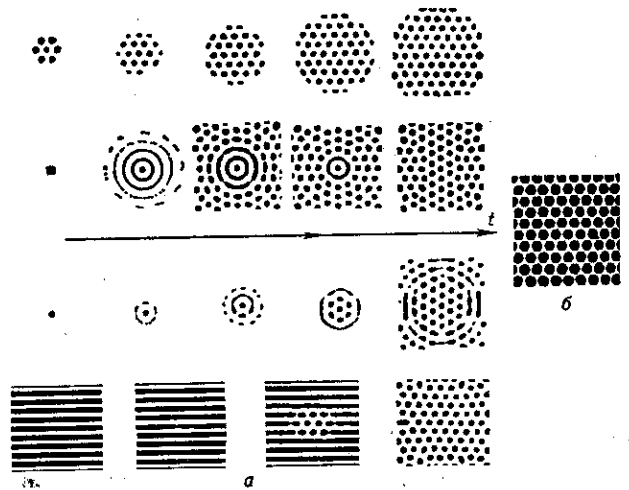


Рис. 1. Многообразие путей установления регулярной шестигранной решётки в модели (1): а — разные маршруты формирования устойчивой решётки; б — конечное состояние с минимальным значением свободной энергии.

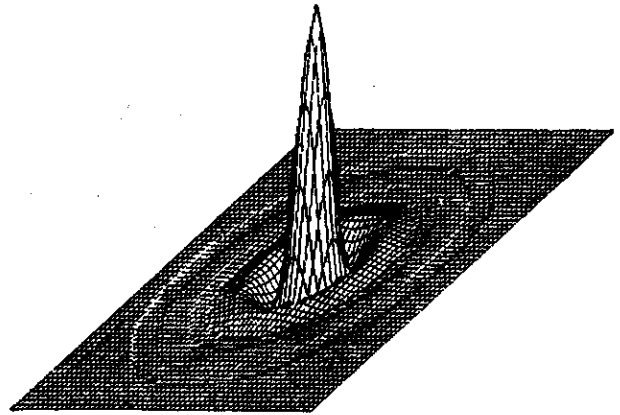


Рис. 2. Распределение поля для центрально-симметричной локализованной структуры, возникающей из начального беспорядка (в рамках модели (2)).

существуют частицеподобные локализованные состояния, такие, как на рис. 2.

Статич. структуры — это лишь одно из проявлений С. Во мн. эксперим. ситуациях наблюдается установление: вращающихся структур (напр., спиральные волны — рис. 3); решёток, периодически меняющих свою симметрию [4]; движущихся, сливающихся и вновь

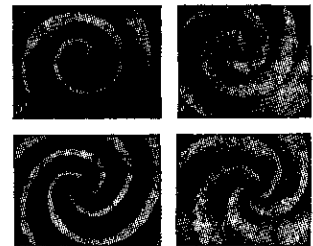


Рис. 3. Спиральные волны в двумерном химическом реакторе.

рождающихся локализованных структур (напр., дислокаций [5]). Подобным нестатич. структурам обычно отвечают аттракторы в виде предельных циклов или маломерных торов. Среди осн. моделей, описывающих эти процессы, обобщённое ур-ние Гинзбурга — Ландау:

$$\partial u / \partial t = u [1 - (1 + i\beta) |u|^2] - (\chi + i\delta) \nabla^2 u \quad (3)$$