Октябрь 1989 г. *Том 159, вып. 2*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

314.86(0493)

ЯВЛЕНИЯ РОСТА ФРАКТАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Vičzek. T. Fractal Growth Phenomena.— Singapore, New Jersey; London, New York : World Scientific, 1989.— 355p.

Фрактальные системы образуют свой мир объектов и явлений, которые в отличие от непрерывных систем имеют рваную структуру. Поскольку природа дает нам большую серию процессов и объектов с фрактальной структурой, то этот мир широк и разнообразен. Его нельзя рассматривать в отрыве от истории изучения фрактальных систем. Если в математику понятия о фрактальных системах вошли много десятков лет назад, то физики осознали ценность этих идей совсем недавно. Точкой отсчета для перенесения фрактальных представлений в физику справедливо считать выход замечательных книг Б. Мандельброта [1, 2] о фрактальной геометрии природы. Использование этих концепций привело к пониманию новой группы свойств неупорядоченных систем, дало дополнительную информацию о них, установило связи между, казалось бы, разными физическими объектами и явлениями. За короткое время возник целый ряд новых направлений физики, включающих в себя как исследование некоторых наборов физических систем, так и развитие эффективных методов их анализа.

Быстрый прогресс в развитии фрактальных представлений в физике имел и свои негативные последствия, связанные с искаженным пониманием некоторых физических результатов из-за переоценки роли фрактальных свойств объектов. Например, перколяционный кластер и фрактальный агрегат (фрактальный кластер) оба являются кластерами с фрактальной структурой. Однако на этом их физическая близость кончается, и поэтому объединение этих объектов по фрактальному признаку не способствует лучшему пониманию физики каждого из них.

Для правильного понимания места фрактальных идей в современной физике существенным является анализ достижений в этой области, сделанный учеными, которые ее сами создавали. В этом отношении весьма ценной является рецензируемая книга венгерского ученого Тамаса Вичека «Явления фрактального роста», которая имеет целый ряд достоинств. Во-первых, ее автор внес существенный вклад в развитие рассматриваемой области. Им получен в этой области ряд принципиальных результатов по компьютерному моделированию фрактальных объектов и явлений, по анализу и описанию процессов роста различных систем в условиях агрегации, ограниченной диффузией. Поэтому автор лучше других может оценить то место, которое следует отвести отдельным элементам данного направления физики. Во-вторых, несомненной заслугой автора является его умение представить рассматриваемое направление физики в виде логически замкнутой картины, где одни результаты являются логическим следствием или логическим продолжением других.

В-третьих, успех книги состоит и в том, что ее содержание дается в относительно простой форме, так что материал книги может быть использован не только специалистами, занимающимися данными проблемами. Это весьма существенно, ибо рассматриваемые вопросы имеют отношение к широкому кругу физических систем и явлений.

Книга разделена на три части. В первой части книги «Фрактали» объясняются фрактальные свойства математических и физических объектов, даются примеры различных симметричных систем с фрактальными свойствами. Эта часть книги особенно удачна как учебное пособие. В ней, в частности, представлен набор «детерминистических» фракталей— геометрических фигур, которые широко используются как простые фрактальные модели. Сюда относятся ряд Кантора (Cantor set), кривая Пеано (Peano curve), слой Серпинского (Sierpinski gasket), ряд Джулиа (Julia set), ряд Манделброта (Mandelbrot set) и т. д. Эти фигуры вводятся в качестве иллюстрации основных свойств фрактальных систем. Кроме того, в первой части книги анализируются различные типы фрактальных систем, представлены их свойства. Описываются методы определения фрактальных размерностей систем.

Во второй части книги «Модели роста кластеров» анализируются существующие модели образования и эволюции кластеров, состоящих из твердых частиц с жесткими связями. Один из параграфов посвящен анализу моделей, описывающих перколяционный кластер. В следующем параграфе рассмотрены модели роста и эволюции кластера, когда этот процесс ограничен диффузией отдельных частиц, присоединяющихся к кластеру. Представлены реалистические DLA-модели (DLA — diffusion limited aggregation), которые описывают как прорастание кластера в объеме, так и на подложке. Анализируются свойства образуемых кластеров. Одно из принципиальных свойств DLA-кластера было установлено автором книги и заключается в анизотропии фрактальных свойств, так что фрактальные размерности, отвечающие радиальному и тангенциальному направлениям кластера, различны. Следует отметить, что DLA-кластер занимает центральное место в физике роста фрактальных систем, ибо математическое описание роста такого кластера соответствует описанию широкого круга физических процессов и явлений. Другие модели, которым посвящены отдельные параграфы книги,— модель Едена или баллистическая модель, когда соединяющиеся частицы или фрагменты движутся по прямолинейным траекториям, а также модель кластер-кластерной агрегации (CCA — cluster-cluster aggregation), когда большой кластер образуется в результате объединения кластеров меньших размеров.

Наряду с описанием модификаций рассматриваемых подходов и свойств образуемых объектов в книге рассмотрены результаты экспериментов при анализе физических систем, отвечающих данным моделям, а также особенности экспериментальных методов.

Третья часть книги — «Образование фрактальных объектов» — посвящена конкретным физическим системам и явлениям, которые описываются представленными выше моделями. В первом параграфе этой части анализируются компьютерные методы исследования рассматриваемых систем и процессов. Представлены различные подходы для моделирования процессов роста, ограниченного диффузией. Большое внимание уделено так называемым лапласиан-объектам (Laplasian patterns), рост которых описывается уравнением Лапласа с соответствующими граничными условиями. При этом DLA-кластер является одним из типов лапласиан-объектов. В другом предельном случае эти объекты имеют нефрактальную морфологию, и, в частности, шестигранные симметричные снежинки могут быть получены как результат эволюции таких систем при определенном соотношении между параметрами. Суще-

ственный вклад в развитие теории лапласиан-объектов был внесен автором этой книги.

Лапласиан-объекты представляют физический интерес в двух отношениях. С одной стороны, они позволяют проанализировать переход от фрактальных систем к нефрактальным. С другой стороны, они описывают широкий круг физических процессов и явлений, к которым наряду с DLA-кластером относятся такие явления, как диэлектрический пробой; формирование гидродинамических структур — так называемых «вязких пальцев», образуемых при проталкивании жидкости или газа через более вязкую жидкость; электрохимическое выделение элемента на электроде при электролизе; движение границы между кристаллической и аморфной структурами при нагревании поверхности; процесс «химического растворения», связанный с химическим растворением пористой среды под действием проникающей в ее поры жидкости; процесс «сушки» пористого вещества, а также целый ряд других физических, химических и биологических явлений, протекающих на межфазной границе. Особенности экспериментального исследования некоторых из этих явлений проанализированы в последнем параграфе.

Книга представляет большую ценность. Удачно сочетая простоту с полнотой изложения, она в простой форме передает читателю новые физические концепции, относящиеся к системам и явлениям с фрактальной структурой, а также родственным физическим явлениям. Данная книга будет полезна специалистам различных направлений физики, где использование фрактальных идей и концепций может оказаться плодотворным. Она представляет методический интерес для специалистов по компьютерному моделированию систем и процессов. Книга доступна широкому читателю-физику, который получит эстетическое удовольствие, знакомясь с представленными в ней современными физическими идеями. Рекомендуя ознакомиться с этой книгой, я считаю, что она может быть использована в современных курсах физики для студентов физических специальностей.

Б. М. Смирнов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mandelbrot B. B. Fractals: Form, Chance and Dimension.—San Francisco: Freeman, 1977.
2. Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature.—San Francisco: Freeman, 1982.