

БИБЛИОГРАФИЯ

532.(049.3)

СИСТЕМЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

Гледзер Е. Б., Должанский Ф. В., Обухов А. М. Системы гидродинамического типа и их применение/Под ред. А. М. Обухова.— М.: Наука, 1981.— 366 с.

Систематические доклады и публикации А. М. Обухова и его сотрудников, посвященные простейшим малопараметрическим моделям гидродинамики — системам гидродинамического типа, — начались около пятнадцати лет назад. В 1974 г. появилась первая книга (Должанский Ф. В., Кляцкин В. И., Обухов А. М., Чусов М. А. Нелинейные системы гидродинамического типа.— М.: Наука), посвященная этому кругу вопросов. Однако в то время большинство слушателей и читателей этих работ не представляли себе, что вскоре эта деятельность широко разовьется, охватит тонкую аналитическую теорию и эксперимент, физический и численный, и тесно соприкоснется с мощной деятельностью в области возникновения турбулентности — изучением странных аттракторов, словом сказать, выйдет на авансцену сегодняшней математической физики.

Но это произошло, и об этом рассказывается в рецензируемой книге, являющейся в значительной мере развитием предыдущей.

К тому было несколько причин. Прежде всего, в 20—30-е годы нашего века, в очень значительной мере в трудах советских школ Л. И. Мандельштама — А. А. Андропова и Н. Н. Боголюбова — Н. М. Крылова произошло сильнейшее продвижение в области механики нелинейных динамических систем. Может быть, одним из важнейших шагов здесь было отождествление автоколебаний с предельными циклами Пуанкаре. Однако распределенные среды этим продвижением не были затронуты, если не считать нескольких изолированных работ, прежде всего А. А. Вигта и С. Э. Хайкина. Вместе с тем некоторые получавшиеся в механике систем с малым числом степеней свободы результаты находились в поразительном качественном соответствии с тем, что наблюдалось в распределенных системах. Широкий выход в такие системы начался, когда в 50—60-е годы для их описания стал применяться метод Галеркина: для зависящих от времени коэффициентов галеркинских аппроксимаций стали получаться системы обыкновенных дифференциальных уравнений, похожие на те, которые получались в нелинейной механике систем с конечным числом степеней свободы. По существу, впервые это было сделано Л. Д. Ландау при исследовании возникновения турбулентности. Для исследования этих уравнений стала применяться современная теория нелинейных динамических систем. Успеху дела способствовало в немалой степени следующее обстоятельство: было обнаружено, что во многих случаях при удачном выборе базисных функций распределенные системы эффективно «сваливались» в пространство с малым числом степеней свободы: остальные галеркинские коэффициенты быстро становились весьма малыми вскоре после начала движения. Поэтому важнейшим стал вопрос о том, какие собственно системы могут получаться при галеркинской аппроксимации уравнений гидродинамики и какими общими свойствами такие динамические системы обладают. Этот вопрос занимает в рецензируемой книге одно из центральных мест.

Разумеется, такое «сваливание» в пространство с малым числом степеней свободы происходит не всегда; более того, по-видимому, это скорее исключение, а не правило. Так происходит, например, в потоке в кольцевом пространстве между вращающимися цилиндрами, при конвекции в горизонтальном слое, подогреваемом снизу, и в других подобных течениях. В то же время для развитых турбулентных течений в пограничном слое, в трубах и струях и т. п. характерно наличие громадного каскада вихрей различных масштабов, сильно взаимодействующих между собой. По-видимому, взаимодействие каждой отдельной пары вихрей и возникающая здесь стохастизация потока могли бы быть описаны системами с малым числом степеней свободы. Совершенно неясно, однако, можно ли это сделать для всего потока.

Вернемся к рассмотрению «Систем гидродинамического типа...» Рецензируемая книга невелика: 366 стр. Она разбита на шесть глав основного текста. Около четверти

основного текста по объему занимает математическое приложение, написанное сотрудником Института физики атмосферы С. М. Вишиком.

Первая глава по мысли авторов представляет собой идейную основу книги. Здесь объясняется, как системы гидродинамического типа возникают при галеркинских аппроксимациях решений гидродинамических уравнений, дается общее определение таких систем: это динамические системы в конечномерном пространстве, обладающие свойством сохранения фазового объема, квадратичной нелинейностью, и, по крайней мере, одним квадратичным положительно определенным интегралом движения. Рассматриваются конкретные примеры и детально обсуждается триплет — простейшая система гидродинамического типа (СГТ): показывается, почему именно триплет — простейшая СГТ и как из блоков триплетов строятся более сложные системы.

Эту главу можно рекомендовать очень широкому кругу читателей, независимо от области их интересов. Главы вторая—четвертая и шестая носят более конкретный характер, они более близки к геофизической гидродинамике и ее лабораторным моделям. Пятая глава стоит ближе к математическому изложению и отличается по характеру изложения от остальных пяти глав. Во второй главе рассматривается прежде всего простейшая реализация триплета в лабораторном эксперименте — движение жидкости в эллипсоидальной полости (разумеется, жидкость должна обладать малой кинематической вязкостью, и эксперимент не должен быть долгим, иначе все испортится вязкостью). Основное место уделяется изучению устойчивости таких движений, причем теоретические результаты сопоставляются с экспериментом. Разумеется, устойчивость, как правило, понимается в узком смысле, т. е. пока и поскольку гидродинамическая система представляется триплетом: авторы приводят далее показательные примеры возникновения неустойчивости под воздействием вышних мод. В том же приближении обсуждается влияние на устойчивость сил Кориолиса: это особенно интересно в геофизической гидродинамике. Следующая, третья, глава посвящена исследованию конвекции в эллиптической полости при помощи простейшей модели, принадлежащей к системам гидродинамического типа. Обсуждаются стационарные движения, потеря их устойчивости при определенных значениях безразмерных параметров, возникновение стохастических движений, соответствующие спектры. Специально рассматривается конвекция во вращающейся жидкости. В конце главы проводится сопоставление с реальными геофизическими течениями. В четвертой главе рассматривается каскад триплетов, передача энергии по такому каскаду, связь с локальной структурой развитой турбулентности и другие подобные вопросы. Изложение становится здесь, естественно, более математическим, однако авторы постоянно апеллируют к свойствам реальных физических систем, например перемежаемости в турбулентных потоках.

Пятая глава сильно отличается по стилю изложения от предыдущих и смыкается скорее с математическим приложением. Здесь вводятся и исследуются так называемые симметризуемые системы — глубокое и естественное обобщение гамильтоновых систем. В шестой главе авторы возвращаются к своему прежнему стилю изложения и рассматривают на основе простейших моделей — систем гидродинамического типа — явление «переброса» — перехода системы из одного квазистационарного состояния в другое. Здесь особенно замечательно сочетание численного анализа, аналитического исследования и изящного лабораторного эксперимента (жидкость в полости, приводимая в движение мешалкой), простыми, но исчерпывающими средствами демонстрирующего эффект. Основная часть книги завершается очень интересным параграфом,носящим скорее характер постановки проблемы, но не ее решения. Авторы рассматривают здесь — существенно используя качественные результаты, полученные выше при рассмотрении простейших примеров систем гидродинамического типа, — возможные причины деления частоты в атмосферных явлениях.

В заключение можно сказать следующее. Авторы вовремя написали очень интересную книгу, посвященную активно разрабатываемой ими проблеме математической физики. Эта проблема тесно соприкасается с наиболее актуальными вопросами, волнующими сейчас всех, кто занимается гидродинамикой в широком смысле слова. Сейчас выходит много книг, и уже давно прошло то время, когда физик или математик стремились иметь в своей домашней библиотеке все, что выходит в издательстве физико-математической литературы. Мы теперь часто удовлетворяемся сознанием того, что та или иная книга имеется в библиотеке или у наших знакомых. Однако эту книгу следует рекомендовать иметь у себя дома всем, кто занимается теоретической или математической физикой, гидродинамикой, теорией плазмы и другими подобными науками.

Г. И. Баренблатт, Я. Б. Зельдович