

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Тюлькиной Ирины Валерьевны
“Коллективные явления в гидродинамических системах за рамками теории Отта-
Антонсена” на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.1.9 – “Механика жидкости, газа и плазмы”

Представленная диссертация состоит из Введения, трех глав и Заключения.

Введение начинается с общей характеристики работы. Ее целью является изучение коллективных явлений в конкретной гидродинамической системе – ансамбле смежных термоконцентрационных конвективных ячеек (элементарных “осцилляторов”). Предметом анализа служат такие фундаментальные явления, как синхронизация, неустойчивость и влияние шумов. Изучение такого рода процессов представляет важное и широко развиваемое направление современной физики (и даже шире – естествознания). В обзоре литературы указаны различные области их приложений – оптика, сверхпроводимость, гидродинамика, химия, техника и т.д. В этом смысле данное диссертационное исследование, безусловно, актуально и представляет несомненный интерес.

Система термоконвективных ячеек является классическим объектом механики жидкости и газа. Это объясняет выбор специальности, по которой защищается диссертация. При рассмотрении процессов, протекающих в гидродинамической системе, автор привлекает известные сведения, а также получает новые результаты в теории нелинейных колебаний и статистической физике, но все они в конечном итоге применяются к гидродинамическим объектам. В этом проявляется цельность и законченность данной научной работы.

Первая глава чисто гидродинамическая. Рассматривается термоконцентрационная конвекция двухкомпонентной жидкости в подогреваемых снизу смежных прямоугольных ячейках пористой среды. Тепловая конвекция изучается с учетом эффекта Соре (термодиффузии). Связь между ячейками осуществляется за счет теплового потока через боковые стенки. Фильтрация жидкости описывается моделью Дарси-Буссинеска. В математическом плане это система четырех уравнений, включающих четыре безразмерных числа. В отличие от предыдущих работ на эту тему, автор использует аналитические методы. В длинноволновом приближении задача сведена к системе двух уравнений (для температуры и аналога “химического потенциала”). Получены условия монотонной и колебательной неустойчивости. С помощью метода многих масштабов из полученной системы (вблизи границы колебательной неустойчивости) выведены сначала уравнения для комплексных амплитуд колебаний, а уже из них в приближении равенства амплитуд колебаний в разных ячейках определена система связанных колебаний для фаз в конвективных ячейках. Эта система типа Курамото-Сакагучи – классической модели коллективных колебаний в нелинейной динамике. Данный вывод – один из важнейших результатов главы, да и всей диссертации в целом.

На основе анализа системы фазовых уравнений исследована синхронизация колебаний в смежных термоконвективных ячейках. Найдены соотношения между силой связи и расстройкой частот свободных колебаний, при которой существует режим синхронизации течений. Получено решение для устойчивого режима. Изучены приложения найденных соотношений для водных растворов спирта (жидкие фазы) и бинарной смеси газов $CO_2 - N_2$.

Вторую главу можно назвать радиофизической, поскольку она целиком посвящена нелинейной теории колебаний и статистической физике. Автор начинает с изложения теории Отта-Антонсена. Она посвящена фазовому описанию ансамблей идентичных осцилляторов и в математическом плане выглядят весьма изящно. В контексте данного диссертационного исследования следует отметить, что теория позволяет точно описывать

коллективную динамику ансамблей типа Курамото-Сакагучи, полученную в первой главе для динамики фаз колебаний течений. В разделе 2.2 приводится теория Отта-Антонсена уже для системы неидентичных осцилляторов с лоренцевым распределением частот. В дальнейшем автор находит различные ее решения, используя оригинальный метод круговых кумулянтов (раздел 2.3). Особый интерес представляют открытые И. Тюлькиной двухгрупповые состояния, которые представляют пару подансамблей, в каждом из которых распределение осцилляторов соответствует решению Отта-Антонсена. Исследована устойчивость одногруппового режима по отношению к возбуждению состояний второй группы (раздел 2.4.3) и динамика двухгрупповых состояний (раздел 2.4.4).

В третьей главе кумулянтный подход применяется для случая, когда в системе присутствуют внутренние шумы. В фазовые уравнения добавляются случайные функции, описывающие слабое шумовое воздействие. Интенсивность шума выступает малым параметром. В отличие от предыдущих глав, в этой главе преобладают численные расчеты. Отдельно изучена неустойчивость численного счета с “оборванными” кумулянтными разложениями и способы ее подавления.

После проработки всех технических деталей численных вычислений автор возвращается к термоконвективной задаче, изучавшейся в первой главе. В рамках фазовых уравнений, включающих гауссово шумовое воздействие, исследована проблема о степени синхронности колебаний в связанных ячейках. Получены количественные характеристики степени синхронности и установлена их зависимость от параметров задачи.

Заключительный раздел диссертации (3.5) посвящен обобщению кумулянтного подхода на случай α - устойчивого дельта-коррелированного негауссового шума. Развитая теория сопоставляется с результатами численного счета.

Диссертация написана, что называется, с душой. Ее математическая часть выглядит крайне солидно, используемые приближения анонсируются, а каждый полученный результат подробно обсуждается. Автор проявила высокую квалификацию в области механики жидкости, теории колебаний и статистической физики. В работе присутствуют как теоретические построения, так и численные модели, что свидетельствует о разносторонности И.В. Тюлькиной, что крайне важно для молодого ученого. Особо отмечу хороший русский язык представленного текста. В качестве исключения, правда, укажу выражение “шум ликвидирует консервативность” (стр. 80), но это единичное явление.

Особо отмечу научную красоту представленного исследования. Строгие физические рассуждения сопровождаются изящной математикой. Работа читается на одном дыхании, и хочется поздравить автора с отлично проделанным исследованием.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Искать недостатки в этом, очень качественном (во всех смыслах) тексте было весьма непросто. Тем не менее, замечания есть. Приведу их.

1) Название диссертации представляется излишне общим (и даже неудачным). В самом деле, автор изучает лишь одну гидродинамическую систему – смежные термоконвективные ячейки (в названии фигурирует множественное число). Конечно, следует признать, что разработанные методы анализа универсальны и могут быть использованы для изучения других гидродинамических систем. Но в работе этого не сделано. Вторая часть названия – “за рамками теории Отта-Антонсена”, – по сути, абсолютно верная, но в ней отсутствует информация о том, что же конкретно вне рамок этой теории учтено. Лично я бы назвал диссертацию так: “Фазовое описание термоконцентрационной конвекции в системе смежных ячеек пористой среды: синхронизация, неустойчивость и влияние шумов”. Отмечу, что понятия “конвекция” и “пористая среда”, представляя изучаемую гидродинамическую систему, отражают

специальность, по которой защищается диссертация, а синхронизация, неустойчивость и влияние шумов – это как раз те темы, которые интересуют автора в наибольшей степени.

2) При постановке термоконвективной задачи (стр. 22) “границы ячеек полагаются непроницаемыми (в том числе, для примеси)”. Насколько это хорошее предположение (особенно, для газовых примесей)? Вполне понятно, что автор ищет аналог осциллятора, к которому применимо фазовое описание. Но будет ли система таких смежных ячеек (а далее предполагается еще, что они достаточно тонкие по ширине) адекватно описывать конечные объемы пористой среды? И если “да”, не следует ли наложить какие-либо требования на эту среду?

3) Стр. 62. При выводе формулы для плотности вероятности для решения Отта-Антонсена используется формула для суммирования бесконечной геометрической прогрессии. При этом не обсуждается вопрос, что модуль ее знаменателя меньше единицы.


4) На стр. 63 при записи двойного интеграла для Z_j интеграл по $d\varphi$ следует взять в скобки.

5) Термин “круговые кумулянты” не кажется мне удачным. Автор сама же использует наиболее естественное (и точно отображающее) их название – перенормированные кумулянты (стр. 66).

6) Раздел 3.5, посвященный воздействию негауссовых шумов на динамическую систему, несколько разрушает целостность диссертации, и его можно было бы не включать в диссертацию. В таком случае работа и начиналась бы, и заканчивалась разбором чисто гидродинамической проблематики.

Подчеркну, что все отмеченные недочеты носят преимущественно методический характер. Они ни в коей степени не умаляют ценности проведенного исследования. Это качественная работа высокого научного уровня, и ее автор – Тюлькина Ирина Валерьевна, безусловно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры математики
Национального Исследовательского Университета
Высшая Школа Экономики – Нижний Новгород

 А.А. Абрашкин

23 августа 2024 г.



 А.А. Абрашкин
начальником
Д.А. Цыганков
и.и.и.