

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе Саратовского
государственного технического университета
имени Гагарина Ю.А.



Петров Д.Ю.

2018 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Сергеева Константина Сергеевича «Колебательные и волновые явления в упорядоченных и неупорядоченных ансамблях взаимодействующих частиц», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - Радиофизика.

Актуальность темы диссертации

Одними из наиболее изучаемых объектов теории колебаний и волн, являющейся фундаментальным компонентом современной радиофизики, являются модели ансамблей большого количества элементов, связанных посредством нелинейных сил различной природы. Топология связи и расположение элементов в разных моделях могут изменяться от локальной связи в простейших одномерных цепочках до нелокальной связи в двух- и трехмерных решетках или пространственно-неупорядоченных ансамблях. В качестве элементов, составляющих ансамбль, также могут выступать неидентичные объекты различной природы.

Так, например, многими исследователями широко изучаются ансамбли точечных консервативных частиц или осцилляторов, взаимодействующих посредством нелинейных потенциальных сил. Модели подобного рода характерны для многих теоретических и практических задач, связанных с исследованием колебаний в реальных системах различной природы (например, молекулярно-динамические модели или радиофизические системы).

Не меньше работ посвящено анализу динамики ансамблей активных элементов – осцилляторов с различными типами связи. Для подобных моделей характерно исследование различных автоволновых процессов, феноменов

пространственно-временного хаоса, образования паттернов, кластеров и пространственных структур. В последнее время нарастает интерес к наблюдаемым в ансамблях осцилляторов так называемым «химерным состояниям», для которых типично сосуществование кластеров с когерентной и некогерентной динамикой.

Однако, многообразие ансамблей взаимодействующих элементов не ограничивается только консервативными частицами и осцилляторами. Существует большое количество работ, посвященных динамике ансамблей так называемых *активных частиц*. Способы взаимодействия элементов ансамбля и топология их связи могут значительно различаться. Существуют модели активных частиц с взаимодействием посредством упругих соударений, общего поля скоростей, потенциальных сил и др.. В значительной степени различаются и механизмы поддержания уровня кинетической энергии частиц: от отрицательного трения и до сложных механизмов с внутренним «хранилищем» энергии. Динамика ансамблей активных частиц имеет ряд особенностей, не проявляющихся в ансамблях консервативных элементов, например, формирование паттернов или эффекты самоорганизации. Большое количество междисциплинарных прикладных и фундаментальных задач, подразумевающих моделирование ансамблей активных частиц, например, разработка метаматериалов, ряд проблем из области биологии, химии, подтверждает актуальность данного направления. С течением времени круг вопросов и нерешенных проблем увеличивается, и, таким образом, исследования динамики ансамблей активных частиц далеки от своего завершения.

Диссертационная работа К.С. Сергеева посвящена отмеченному выше актуальному направлению теории колебаний и волн. Автор сосредотачивает внимание на моделировании ансамблей активных частиц различной природы, в частности, на рассмотрении стационарных состояний и метастабильных режимов таких ансамблей. Хотя ансамбли активных частиц и ранее активно обсуждались в научной литературе, автору удалось исследовать ряд новых эффектов, характерных для динамики таких систем.

Важным с научной точки зрения достижением является обнаруженная экспоненциальная зависимость между длительностью переходных процессов и размерами ансамбля в модели Морзе-Рэля (частицы, находящиеся под действием трения Рэля и связанные силами потенциала Морзе). Под переходными процессами в рассматриваемой цепочке подразумеваются процессы установления равномерного пространственного распределения диссипативных солитонов из их неравномерного начального распределения. Автором было установлено, что при стохастических начальных возмущениях частиц солитоны не образуют равномерного пространственного распределения, а формируют некие группы – кластеры, и определен характерный размер таких кластеров при различных значениях параметров.

Кроме того, проводились исследования стационарных состояний аналогичной цепочки в случае нелокальной связи, и было обнаружено, что при нелокальной связи между частицами стационарными являются как состояния с равномерным распределением солитонов, так и режимы с равномерным распределением нескольких кластеров, а выбор того или иного режима можно осуществить, задав подходящие начальные условия.

Большое внимание в работе уделяется такому важному аспекту динамики нелинейных систем, как влияние шума. На примере модели Морзе-Рэля продемонстрировано, что под действием шума возможны переходы между стационарными модами, соответствующие разрушению и возбуждению диссипативных солитонов. Определены вероятности увеличения и уменьшения количества солитонов при различных интенсивностях шума и подробно рассмотрены механизмы переходов между модами, получены аналитические аппроксимации результатов численного моделирования.

Привлекательным представляется рассмотренный в диссертации способ количественной идентификации стационарных мод, основанный на использовании структурного динамического фактора. Такой подход позволяет одновременно и с высокой точностью определить пространственный и временной масштабы нелинейных волн в цепочке, в том числе в присутствии шума.

Для сопоставления динамики ансамбля активных частиц и ансамбля осцилляторов автор рассматривает активную частицу с трением Рэля как частный случай осциллятора Рэля с нулевой частотой и переходит к рассмотрению *цепочки осцилляторов* Рэля, связанных силами потенциала Морзе. Показано, что в такой цепочке существуют локализованные стационарные возбуждения – «диссипативные бризеры».

Помимо одномерных цепочек, в работе рассматриваются *двумерные* решетки и ансамбли активных частиц. Для упорядоченной плотно-упакованной решетки с треугольной симметрией (рассматривается модель Морзе-Рэля, обобщенная на двумерный случай) обнаружены и систематизированы основные стационарные и метастабильные состояния. Обнаружено, что единственным стационарным состоянием такой решетки является так называемый «режим трансляции» - состояние с полной синхронизацией скоростей всех частиц. Метастабильные состояния решетки представлены, в основном, плоскими солитоноподобными волнами различной конфигурации. Обнаружена способность таких решеток восстанавливать свою структуру после локализованного внешнего воздействия, а так же исследованы механизмы возбуждения и распространения диссипативных краудионов в решетках активных частиц.

Рассмотрение двумерных моделей не ограничивается упорядоченными

решетками частиц; также исследуется поведение малого неупорядоченного ансамбля активных частиц, управляемых шумом и взаимодействующих через общее поле скоростей. Продемонстрировано существование эффекта бистабильности при индуцированном шумом переходе между неупорядоченным и упорядоченным состояниями в малом ансамбле, т. е. сосуществование двух стационарных состояний при фиксированной интенсивности шума. Обнаружено, что в малых ансамблях добавление аддитивного источника шума приводит к возникновению бимодального распределения скорости частицы.

Не менее актуальной является рассмотренная в работе задача исследования динамики цепочки консервативных частиц в приложении к молекулярно-динамическому моделированию молекулы ДНК. В рамках данной задачи рассматривается цепочка точечных масс, соединенных силами потенциала Морзе и модифицированного параболического потенциала. Обнаружено, что в цепочке с закрепленными концами можно инициировать распространение устойчивого узкого мобильного дискретного бризера при задании специальных начальных условий, и определен оптимальный вид таких начальных условий.

На основе вышесказанного можно констатировать, что работа представляет собой законченное и актуальное исследование и соответствует специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Новизна исследований и полученных результатов, степень обоснованности используемых подходов и выводов.

Результаты, приведенные в диссертации, являются оригинальными и имеют приоритетный характер. Наиболее существенными из них являются следующие:

1. Обнаружено, что в цепочках активных частиц с нелинейной связью начальному состоянию с неравномерным распределением солитонов соответствует процесс перехода к состоянию с их равномерным пространственным распределением, длительность которого экспоненциально растет с увеличением количества частиц в цепочке.
2. Показано, что при начальных условиях со стохастическим распределением скоростей частиц в цепочках с нелинейной потенциальной связью формируются режимы с неравномерным пространственным распределением солитонов в виде кластеров. Определены характерные размеры кластеров в широком диапазоне значений параметров.
3. Установлено, что при нелокальной связи в цепочке активных частиц с потенциальной связью стационарными являются режимы с равномерным распределением кластеров из нескольких солитонов.
4. Обнаружено, что шумовое воздействие на цепочку активных частиц приводит к изменению числа диссипативных солитонов, причем вероятность увеличения либо

уменьшения числа солитонов зависит от интенсивности шума. Установлены аналитические аппроксимации вероятностных характеристик, полученных из численного моделирования.

5. В цепочках осцилляторов Рэлея, связанных силами потенциала Морзе, невозможно распространение диссипативных солитонов, однако обнаружено существование диссипативных дискретных бризеров и определены границы областей их существования в пространстве параметров.
6. Установлено, что в двумерных решетках активных частиц множество стационарных состояний представлено набором так называемых трансляционных мод. Метастабильные состояния представлены плоскими солитоноподобными волнами различной конфигурации, которые трансформируются в трансляционную моду по окончании переходных процессов.
7. Обнаружено, что решетки активных частиц способны восстанавливать свою пространственную структуру после локального внешнего воздействия. Установлено, что существуют и такие значения параметров, при которых локализованное воздействие инициирует распространение краудионов.
8. Установлено, что в малых неупорядоченных ансамблях активных частиц, взаимодействующих через общее поле скоростей, при воздействии аддитивного шума при определенных значениях параметров могут возникать динамические состояния с бимодальным распределением скорости. В отсутствие аддитивного шума эти области соответствуют областям бистабильности распределений скорости частиц.
9. Показано, что за счет начального возмущения положения и скорости нескольких смежных элементов молекулы ДНК в ней можно сформировать узкий мобильный бризер, движущийся вдоль оси молекулы.

Рассмотренные автором модели описывают достаточной широкий круг физических явлений. Достоверность результатов работы и обоснованность выводов не вызывает сомнений, поскольку методы и алгоритмы подтверждаются проверкой сходимости вычислений. Полученные автором результаты являются последовательным развитием результатов других авторов и находятся в хорошем согласии с ними.

Замечания по работе

Имеются отдельные замечания по содержанию и структуре работы, которые, однако, не затрагивают существа защищаемых положений и выводов диссертации. К таким замечаниям можно отнести следующие:

1. Переход от уравнения (1.7) к уравнению (1.8) не вполне очевиден и требует пояснений. Аналогичное замечание относится к параграфу 2.2, в котором не приведены уравнения динамики решетки в размерных переменных, в результате появление уравнения (2.3) не очевидно и требует пояснений.

2. В пункте 1.7.1 автором не приводится вид начальных условий, при которых формируются стационарные состояния, показанные на рисунке 1.15 б. Представляется, что следовало бы использовать установившийся режим модели с локальной связью в качестве начального условия при моделировании системы с нелокальной связью, и наоборот.

3. Во второй главе диссертации часто используются такие характеристики метастабильных состояний, как «долгоживущие» или «с большим временем жизни», однако, не ясно, в сравнении с какими эти состояния являются долгоживущими

4. В тексте главы 4 диссертации автор на основании полученных результатов утверждает, что возможно возбуждение дискретных бризеров в молекуле ДНК, однако изложенные результаты получены в рамках приближенной модели молекулы ДНК. Для утверждения о существовании бризеров в реальных молекулах желательное экспериментальное подтверждение

Общая оценка работы

В целом диссертация Сергеева Константина Сергеевича представляет собой законченное исследование, внесшее заметный вклад в развитие теории нелинейных колебаний и волн. Результаты исследований, проведенных автором, расширяют представления о динамике многомерных неравновесных систем, в частности, о возможностях реализации различных пространственных структур, о влиянии шума на ансамбли активных частиц и устойчивости таких ансамблей к локализованным внешним воздействиям. Решение поставленных в диссертации задач имеет важное значение для развития методов управления системами связанных активных частиц различной физической природы.

Результаты работы по теме диссертации представлены в 12 научных публикациях, 7 из которых опубликовано в журналах, рекомендованных ВАК, таких, как «International Journal of Bifurcation and Chaos», «Нелинейная Динамика», «Письма в Журнал Технической Физики», и 5 -- в сборниках трудов конференций.

Результаты работы доложены и обсуждались на международных научных конференциях, они использовались при выполнении двух грантов РФФИ, гранта РФФИ и гранта Немецкого Физического Общества DFG SFB-911.

Таким образом, основные результаты диссертационной работы всесторонне апробированы и опубликованы. Автореферат с достаточной полнотой соответствует основным положениям диссертационной работы.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы для внедрения в образовательный процесс в Саратовском госуниверситете, в Саратовском государственном техническом университете, в Нижегородском, Московском университетах, в которых преподаются курсы по теории колебаний и волновых процессов и радиофизике.

Можно заключить, что диссертационная работа К.С. Сергеева по актуальности решенных задач, объему проведенных исследований, степени научной новизны и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Сергеев Константин Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Отзыв составил: Астахов Владимир Владимирович, доктор ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации» СГТУ им. Гагарина Ю.А.

Тел.: (845-2) 99-88-27. E-mail: astakhovvv@sstu.ru

Почтовый адрес: 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, СГТУ, кафедра РТ.

Отзыв утверждён на расширенном научном семинаре кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» СГТУ им. Гагарина Ю.А. (протокол № 3 от 23 ноября 2018г.)

Зав.кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

СГТУ им. Гагарина Ю.А.,

проф., д.ф.-м.н.



Астахов В.В.