

Редакторская заметка

DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-1-5-9

К 70-летию Сергея Петровича Кузнецова

П. В. Купцов

Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А., Россия

E-mail: p.kuptsov@rambler.ru

Опубликована 1.02.2021

Благодарности. Автор выражает признательность О.Б. Исаевой, И.Р. Сатаеву, А.В. Савину и Д.В. Савину за предоставленные материалы.

Для цитирования: Купцов П.В. К 70-летию Сергея Петровича Кузнецова // Известия вузов. ПНД. 2021. Т. 29, № 1. С. 5–9. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-1-5-9.

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

В 2020 году от нас ушёл выдающийся учёный, преподаватель, учитель Сергей Петрович Кузнецов. В 2021 году планировалось отпраздновать его семидесятилетие, и изначально настоящий выпуск журнала должен был быть приурочен к этой дате. Но так сложилось, что мы публикуем его уже без участия юбиляра. Здесь собраны статьи разных авторов, которые знали Сергея Петровича и сотрудничали с ним. Тематика статей соответствует научным направлениям,



в которых он работал. Но сначала хотелось бы немного рассказать о самом Сергее Петровиче.

Сергей Петрович Кузнецов родился в 1951 году в Москве. В 1968 году окончил с золотой медалью Саратовскую физико-математическую школу № 13 (ныне Физико-технический лицей № 1) и поступил на физический факультет Саратовского государственного университета. Обучался на кафедре электроники, дипломную работу выполнял под руководством Д.И. Трубецкого. Курс обучения в университете окончил с отличием в 1973 году.

С 1973 года по 1988 год Сергей Петрович работал в НИИ механики и физики при СГУ, сначала в должности инженера, а с 1974 года – старшим научным сотрудником. Параллельно с работой в НИИМФе в 1974 году он поступил в аспирантуру СГУ, по окончании которой в 1977 году защитил кандидатскую диссертацию «Теоретические методы для анализа нестационарных явлений в некоторых распределенных автоколебательных системах типа электронный поток – электромагнитная волна» по специальности радиофизика. В 1984 году ему было при-

своено ученое звание старшего научного сотрудника. В 1987 году Сергей Петрович защитил докторскую диссертацию «Нестационарные нелинейные процессы и стохастические колебания в распределенных системах радиофизики и электроники».

С 1988 года основное место работы – Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, куда Сергей Петрович пришёл сначала на должность ведущего научного сотрудника, а в 2001 году стал заведующим лабораторией «Теоретическая нелинейная динамика». В 2002 ему присвоено ученое звание профессора.

Параллельно с работой в ИРЭ Сергей Петрович преподаёт в СГУ. В 1992–1995 годах он по совместительству работает профессором кафедры радиофизики и нелинейной динамики университета, а с 1996 года по 2018 – профессором высшего колледжа прикладных наук (впоследствии факультета нелинейных процессов), созданного при его активном участии. Материалы учебных курсов, разработанных им и при его участии, легли в основу ряда получивших широкое признание учебников. Среди них следует в первую очередь выделить курс лекций «Динамический хаос». Написанная Сергеем Петровичем на его основе монография имеет более тысячи двухсот цитирований. В 1998 году Сергей Петрович стал – вместе с Александром Петровичем Кузнецовым – одним из основателей кафедры динамических систем на базе Саратовского филиала ИРЭ. Кафедра стала одной из двух первых базовых кафедр в университете и в настоящее время является старейшей из существующих в СГУ.

Под руководством Сергея Петровича защищены двенадцать кандидатских диссертаций (П.В. Купцов, 1998; И.Р. Сатаев, 1998; О.Б. Исаева, 2003; А.Ю. Жалнин, 2003; А.С. Иванова, 2004; А.Ю. Кузнецова, 2005; А.М. Долов, 2005; Ю.С. Айдарова, 2009; С.В. Баранов, 2010; М.В. Поздняков, 2011; Д.С. Аржанухина, 2014; В.П. Круглов, 2016). Научный консультант докторской диссертации П.В. Купцова, 2013 г. Совместная с Борисом Петровичем Безручко ведущая научная школа России «Фундаментальные проблемы нелинейной динамики и их приложения» в 2014 году была поддержана грантом Президента Российской Федерации.

Работа Сергея Петровича с учениками заслуживает отдельного рассказа. Я был его аспирантом с 1994 года до защиты в 1998 году. Главное впечатление о том времени – мне очень повезло, потому что всё по-настоящему. В обязательном порядке, не реже чем раз в две недели, я появлялся и отчитывался о проделанной работе. Если мы готовили статью, то она многократно переписывалась. Типичная пометка на распечатке рукописи: в целом всё хорошо, но переписать здесь, тут, там и там – подчеркнут и зачёркнут практически весь текст. И так несколько итераций. Кандидатский экзамен по специальности я именно сдавал. К моменту окончания аспирантуры весной 1997 года (тогда срок аспирантуры был не четыре года как сейчас, а три) все материалы диссертации были собраны и за лето я полностью подготовил текст, наивно полагая, что работа выполнена. На самом деле работа только начиналась – следующие несколько месяцев мы доводили текст до ума. Едва ли не каждый абзац пришлось переписывать по несколько раз. В итоге на защиту я вышел только в мае 1998 года, но с тщательно вычитанной и проработанной диссертацией.

Педагогическая деятельность Сергея Петровича не ограничивалась работой со студентами и аспирантами. В течение многих лет он регулярно читал научно-образовательные лекции для школьников на традиционных школах «Нелинейные дни в Саратове для молодых», принимал участие в работе школьной научной лаборатории, заочной нелинейной школы и во многих других молодёжных научных мероприятиях. Почти тридцать лет – с начала семидесятых годов по конец девяностых – Сергей Петрович занимался организацией саратовских городских и областных олимпиад школьников по физике, был членом жюри и разработчиком заданий. Он соавтор нескольких известных сборников физических олимпиадных задач, опубликованных в саратовских и центральных издательствах. Совместно с Александром Петровичем Кузнецовым был создан сайт «Окно в науку. Сайт для научных работников младшего возраста» [URL: <http://sgtnd.narod.ru/wts/rus/index.htm>], где собраны материалы для школьников, интересующихся наукой.

Как учёный, Сергей Петрович хорошо известен в нашей стране и за рубежом. Он неоднократно приглашался зарубежными коллегами для проведения совместных исследований и чтения лекций: университет Беркли (США), Датский технический университет и Институт Нильса Бора (Дания), университеты в Ольденбурге и Гёттингене (Германия), Институт физики сложных систем общества Макса Планка (Дрезден, Германия), университеты Лафборо и Портсмута и Открытый университет в Милтон-Кинс (Англия), университет Уппсала (Швеция). Отдельно следует упомянуть лабораторию Аркадия Самуиловича Пиковского в университете Потсдама (Германия), которую он посещал практически ежегодно в течение нескольких лет и где было выполнено несколько крупных совместных проектов. Значительная часть научной жизни посвящена Ижевску. С 2015 по 2019 год Сергей Петрович занимал там по совместительству должность главного научного сотрудника лаборатории нелинейного анализа и конструирования новых средств передвижения Удмуртского госуниверситета и руководил проектом, выполняемым при поддержке Российского научного фонда.

Научное наследие Сергея Петровича – это более 200 научных публикаций в отечественной и зарубежной печати, 3 авторских свидетельства на изобретения, книги (написанные им одним и с соавторами) «Динамический хаос», «Нелинейные колебания», «Странные нехаотические аттракторы», «Гиперболический хаос: Взгляд физика», «Динамический хаос и гиперболические аттракторы: От математики к физике».

Можно выделить три главные направления научной работы Сергея Петровича, в которых были получены весомые результаты: разработка нестационарной нелинейной теории электронных генераторов с обратной волной и обнаружение возможности сложной динамики и хаоса в таких системах; исследование критических явлений на пороге рождения хаотических и странных нехаотических аттракторов; идея и физическая реализация систем, имеющих гиперболические странные аттракторы.

В своём трактате 1637 года «Рассуждение о методе, чтобы верно направлять свой разум и отыскивать истину в науках» Рене Декарт сформулировал четыре правила научного познания. Четвёртое гласит: «... делать всюду перечни настолько полные и обзоры столь всеохватывающие, чтобы быть уверенным, что ничего не пропущено». Именно по такому принципу была построена работа по изучению критических явлений и сценариев перехода к хаосу научного коллектива под руководством Сергея Петровича.

Под сценарием перехода к хаосу понимают последовательность бифуркаций, наблюдаемых при медленном изменении управляющего параметра в динамической системе на пути от регулярного к хаотическому поведению, например, через каскад удвоений периода, квазипериодические режимы, перемежаемость. После работ Фейгенбаума стало ясно, что для динамики на пороге хаоса характерны закономерности скейлинга (масштабного подобия), которые ассоциируются с определенными классами универсальности или типами критического поведения. Первый известный класс универсальности открыт Фейгенбаумом, позднее обнаружен ряд других типов критичности. Теоретическим аппаратом, позволяющим исследовать критическое поведение, служит метод ренормгруппы.

Работа научной группы по выявлению универсальных закономерностей при переходе от порядка к хаосу, как мне кажется, точно описывается одной фразой, которая, возможно, и не соответствует строгой стилистике академического издания: «пройти мелкой сетью». В полном соответствии с правилом Декарта, «чтобы быть уверенным, что ничего не пропущено», было скрупулёзно проанализировано и классифицировано настолько много различных случаев, что я сомневаюсь, что в этой области остались интересные для изучения задачи. Некоторые примеры собраны на сайте [URL: <http://sgtnd.narod.ru/science/alphabet/rus/index.htm>] в виде своего рода «азбуки» критических точек. Ассоциация с азбукой возникает из-за того, что типы критичности обозначены одной-двумя заглавными латинскими буквами.

Однако я позволю себе предположить, что наиболее значимые и совершенно точно наиболее резонансные результаты Сергея Петровича связаны с созданием физических систем с гиперболическим хаосом.

Гиперболический хаос можно назвать, отступив от канонов математической строгости, «наилучшим» видом хаоса. Имеется в виду, что гиперболическая хаотическая динамика обладает свойством грубости, то есть она не разрушается при вариациях параметров системы. Такой тип хаоса контрастирует с «хрупким хаосом», который, хотя и выглядит в численных расчётах и в эксперименте как сильно нерегулярное поведение, но при более аккуратном рассмотрении характеризуется присутствием наряду с хаотическими орбитами регулярных притягивающих множеств с узкими бассейнами притяжения, или же таковые появляются при сколь угодно малой вариации параметров.

Достаточно долгое время считалось общеизвестным, что гиперболический хаос – это математическая абстракция, такая же как, например, материальная точка в механике. Реальные хаотические системы таким свойством не обладают. В 2005 году Сергей Петрович опубликовал статью, где предложил построенную на основе двух генераторов ван дер Поля неавтономную радиофизическую систему [1]. Это была первая в мире физически реализуемая система с гиперболическим хаотическим аттрактором типа Смейла–Вильямса. Естественно, эта работа не прошла незамеченной и поначалу даже вызвала достаточно оживлённые дискуссии.

Физическая система с аттрактором Смейла–Вильямса была представлена Сергеем Петровичем в 2006 году на школе «Нелинейные волны – 2006», которая проходила в Нижнем Новгороде. Доклад был принят неоднозначно: высказывались серьёзные сомнения в том, что в такой системе возможен аттрактор Смейла–Вильямса. Вопрос вызвал такой интерес, что был вынесен на отдельное вечернее заседание – весьма редкое событие – где в присутствии многочисленных участников состоялась бурная научная дискуссия. Вообще говоря, веские причины относиться с сомнением к этой работе имелись. Аргументация в пользу того, что в предложенной системе действительно наблюдается аттрактор Смейла–Вильямса была хотя и убедительной, но только качественной. Доказательства на математическом уровне строгости предъявлено не было. Однако, справедливости ради заметим, что конструкция системы Кузнецова совершенно не вписывается в традиционные формально-математические подходы, основанные на геометрических, алгебраических, топологических построениях и реализуемые обычно после целого ряда упрощающих предположений. По этой причине до сегодняшнего дня нет ясности, удастся ли выполнить классически строгий математический анализ этой системы без применения вычислительной техники и без редукции к несуществующим в природе формальным моделям. В итоге дискуссия ничего не решила, и участники остались каждый при своём мнении. Тем не менее, позже точка в дискуссии всё же была поставлена. Польский математик Даниель Вилчек опубликовал работу [2], в которой с применением доказательных вычислений он выполнил, хотя и численное, но математически строгое подтверждение гиперболичности аттрактора в системе Кузнецова. После выхода этой статьи все возражения были сняты.

В развитие идей, предложенных в первой работе, Сергей Петрович сформулировал многолетнюю исследовательскую программу, цель которой – физическое наполнение математической теории гиперболического хаоса. В ходе её реализации им и его коллегами и учениками было предложено большое количество примеров физических систем разной природы с гиперболическим хаосом. Чтобы оценить масштаб проделанной работы, можно набрать в поисковой системе запрос «гиперболический хаос» – несколько первых страниц будут содержать только ссылки либо на работы самого Сергея Петровича, либо на работы его коллег и учеников.

Научные исследования Сергея Петровича посвящены совершенно разным темам. Но их объединяет общая методическая установка, которую, цитируя Л.И. Мандельштама, Сергей Петрович определял как «колебательную взаимопомощь» различных научных дисциплин. Одна из ярких иллюстраций этого – серия работ, выполненных в конце девяностых годов, посвящённых исследованию химических реакционно-диффузионных систем с открытым потоком с применением методов, развитых в радиофизике, электронике и физике плазмы. В первой статье из этой серии [3] исследуется абсолютная и конвективная неустойчивость хопфовских и тьюринговских

мод. Вопросы, которые в ней обсуждаются, по большому счёту, не кажутся совершенно новыми, ранее не поднимавшимися. В физике плазмы, в электродинамике анализ на абсолютную неустойчивость – хорошо проработанный и известный инструмент. Однако его перенос в контекст анализа химических систем вызвал большой интерес. Указанная статья имеет около сотни цитирований – сработала колебательная взаимопомощь.

В значительной мере популярность этой работы связана с её последним разделом, который посвящён обсуждению структур, названных Сергеем Петровичем незатухающими в пространстве хвостами (spatially undamped tails). Это стационарные структуры, возникающие в реакционно-диффузионных системах с открытым потоком, когда на входе поддерживается постоянное отклонение от состояния равновесия и скорость потока превышает некоторую критическую величину. Механизм возникновения этих структур аналогичен известному в электродинамике эффекту Черенкова – в системе отсчёта, движущейся вместе с потоком, достаточно быстро перемещающаяся неоднородность излучает волну.

В общем объёме статьи описание и обсуждение этого эффекта занимает сравнительно небольшое место – возможно, Сергей Петрович полагал, что его появление достаточно ожидаемо и в силу этого не представляет особого интереса. Однако на исследователей автоволновых явлений в химических системах, в особенности на экспериментаторов, это произвело значительное впечатление. Дело в том, что до появления этой работы было известно только два механизма формирования пространственных структур в активных химических средах: диффузионная неустойчивость Тьюринга и неустойчивость разностного потока. Оба механизма связаны с разными скоростями переноса компонентов многокомпонентной смеси реагентов: диффузионного и конвекционного, соответственно. Это оказалось достаточно сложно реализовать в натурном эксперименте. Например, структуры Тьюринга были получены в эксперименте только через сорок лет после их теоретического предсказания. Эффект, открытый Сергеем Петровичем, который позже стали называть FDO (Flow Distributed Oscillators) или FDS (Flow and Diffusion Distributed Structures), что на русский можно перевести как потоково-диффузионная развёртка колебаний, оказался третьим, ранее не известным, механизмом структурообразования и при этом его можно было достаточно легко пронаблюдать в эксперименте. Поэтому в начале двухтысячных был достаточно большой интерес к этому эффекту: публиковались теоретические и экспериментальные работы, результаты обсуждались на конференциях, защищались диссертации, выделялись гранты – пишу об этом как непосредственный участник этой деятельности. Всё это служит наглядной иллюстрацией чрезвычайно высокой плодотворности междисциплинарного подхода, которому Сергей Петрович уделял большое внимание в своей научной работе.

Кажется удивительным, что небольшой раздел в статье, которая в общем-то изначально не претендовала на революционность – это его обычная, как всегда качественно выполненная работа – породил целое научное направление, в которое оказались вовлечены коллективы со всего мира. Как мне представляется, из этого следует сделать вывод, что имеет смысл внимательно перечитать другие «обычные» статьи Сергея Петровича. Уверен, там найдутся идеи ещё не на один научный проект.

Список литературы

1. *Kuznetsov S.P.* Example of a physical system with a hyperbolic attractor of the Smale–Williams type // *Phys. Rev. Lett.* 2005. Vol. 95. P. 144101. DOI: 10.1103/PhysRevLett.95.144101.
2. *Wilczak D.* Uniformly hyperbolic attractor of the Smale–Williams type for a Poincaré map in the Kuznetsov system // *SIAM J. Appl. Dyn. Syst.* 2010. Vol. 9, no. 4. P. 1263–1283. DOI: 10.1137/100795176.
3. *Kuznetsov S.P., Mosekilde E., Dewel G., Boreckmans P.* Absolute and convective instabilities in a one-dimensional Brusselator flow model // *J. Chem. Phys.* 1997. Vol. 106, no. 18. P. 7609–7616.