

Фото предоставил А.Дымов



Когда теория становится хорошо понятой с точки зрения физики, наступает момент для ее математического обоснования.

положении, что «время мало», а физикам как раз интересно, когда оно «велико». Так вот, когда теория становится хорошо понятой с точки зрения физики, наступает момент для ее математического обоснования. Как говорил знаменитый физик Дирак во время своего визита в МГУ в 1956 году, «физический закон должен обладать математической красотой». Трактую эту фразу широко, я бы сказал, что хорошая физика порождает хорошую и красивую математику и это - естественный и правильный путь для развития математики. Я верю и надеюсь, что это - взаимовыгодное сотрудничество: физики дают математикам хорошие задачи, а математики наводят порядок в физических теориях и разрабатывают язык для дальнейшего исследования.

Сегодня теория волновой турбулентности довольно хорошо понята физически, но математически она разработана совершенно недостаточно. Первая математическая работа была опубликована лишь в 2015 году, несмотря на большой интерес в сообществе математических физиков к этой задаче. С тех пор появилось порядка пятнадцати работ, понимания стало заметно больше, но все равно пока мы слабо понимаем математику, лежащую за этой теорией. Но уже видно, что эта математика очень красивая и богатая.

- За что вам присуждена медаль РАН с премией для молодых ученых?

- Наверное, за серию работ, где мы неплохо продвинулись в понимании математики, дающей обоснование теории волновой турбулентности. Мы - это я, Сергей Борисович Куксин, у которого я учился, еще будучи аспирантом, а также наши соавторы Альберто Майокки (Италия) и Сергей Влэдуц (Франция, Россия). Необходимо отметить, что идея работать над этой темой, конкретная постановка задачи и значительная часть идей о подходе к ней принадлежат именно Куксину, он - главный драйвер этой деятельности. Верная постановка задачи - это уже полдела. Она, мягко говоря, не очевидна. В общем, я думаю, что медаль мне дали за комбинацию качественной математики и продвижение в важной и перспективной задаче. Если говорить более конкретно, то мы строго вывели центральный объект теории - волновое кинетическое уравнение, однако не для настоящего реше-

Контурь

Простые ответы

Сложные математические задачи можно решать красиво

Беседовал Василий ЯНЧИЛИН

► Иногда можно услышать мнение, что в математике все самое важное уже сделано, все главные принципы и законы открыты, и поэтому современным ученым ничего не остается, кроме как уходить в оторванные от реальности дебри. Такой взгляд опровергает российский математик, старший научный сотрудник Математического института им. В.А.Стеклова РАН Андрей ДЫМОВ (на снимке). Он работает над строгим обоснованием теории волновой турбулентности для стохастической модели Захарова - Львова. К слову, определенных успехов молодой ученый уже достиг, о чем говорит присужденная ему медаль РАН. Корреспондент «Поиска» поговорил с математиком и попросил раскрыть сложную для понимания тему.

- Андрей, для начала расскажите, что такое волновая турбулентность и зачем ее изучают?

- Лучше бы адресовать этот вопрос физикам, работающим над теорией, но я попробую на него

ответить в меру своего понимания.

В 1941 году Андрей Николаевич Колмогоров создал свою знаменитую теорию турбулентности, которую сейчас называют K41. Возможно, на взгляд обывателя слово «турбулентность» ассоциируется с чем-то абсолютно беспорядочным. Однако это не так. Турбулентное течение состоит из вихрей разного размера. Большие вихри неустойчивы и разваливаются на меньшие. При этом энергия больших вихрей делится между образовавшимися. Эти меньшие вихри разваливаются на еще меньшие. Таким образом образуется каскад энергии от вихрей больших размеров к вихрям меньшим.

Согласно Колмогорову, этот каскад устроен вполне определенным и универсальным образом. Однако его рассуждения основаны лишь на анализе размерностей физических характеристик системы: предполагая, что такая замечательная универсальность действительно есть, он вычислил, как именно должен быть устроен каскад энергии. После появления статей Колмогорова проводилось

много экспериментов, которые подтвердили его выводы. Тем не менее удовлетворительной физической теории, объясняющей причины существования такой универсальности, до сих пор нет, несмотря на чрезвычайный интерес физического сообщества к этим вопросам. Дело в том, что уравнения, которые описывают турбулентное течение, чрезвычайно сложны. Это уравнение Навье - Стокса, про которое мы даже не знаем, существует ли у него решение и единственное ли оно, - это одна из так называемых задач тысячелетия.

В 1960-х годах физики, в частности, Владимир Захаров, поняли, что каскад энергии, аналогичный найденному Колмогоровым, существует в широком классе других физических систем, описываемых гораздо более простыми уравнениями. Им удалось построить содержательную физическую теорию - теорию волновой (или слабой) турбулентности, объясняющую универсальность каскада энергии для этого класса систем. С тех пор теория волновой турбулентности интенсивно развивается в работах отечественных и зарубежных физиков: ей посвящены сотни публикаций. Выяснилось, что она описывает турбулентность во множестве важных волновых систем: от квантовых до астрофизических масштабов. Например, это капиллярные волны, Альвеновские волны, волны Россби в атмосфере (связанные с изменениями погоды и климата),

волны в конденсате Бозе - Эйнштейна, в нелинейной оптике.

Замечу, что истоки теории часто относят даже не к работам Захарова и его школы, а к статье Рудольфа Пайерлса 1929 года, ученика Вольфганга Паули. Пайерлс исследовал теплопроводность в кристаллах с точки зрения статистической механики. В его работе, хотя и в другом контексте, впервые появилось так называемое волновое кинетическое уравнение - центральный объект теории волновой турбулентности. С этим связан другой взгляд на теорию - ее можно рассматривать как аналогичную двум знаменитым кинетическим теориям: Больцмана, которая описывает динамику газа, и уже упомянутой теории Пайерлса. Только роль сталкивающихся частиц газа (у Больцмана) или частиц, сидящих в узлах кристаллической решетки (у Пайерлса), играют взаимодействующие нелинейные волны.

- Это все о физике, но вы ведь занимаетесь математикой.

- С точки зрения физики теория волновой турбулентности понята довольно хорошо. Но разница между физическим и математическим уровнями понимания велика (математики доказывают строгие теоремы, в то время как выводы физиков не строгие). Та же кинетическая теория Больцмана была обоснована математически лишь сто лет спустя после ее появления, это было сделано в знаменитой работе Оскара Ланфорда. И все равно нельзя сказать, что теперь она понята хорошо: теорию удалось обосновать только в пред-

ния системы, а только для приближенного, где близость понимается в очень специальном смысле.

- Почему ваша модель называется стохастической?

- Сейчас все понимают: чтобы получить результаты, подобные тем, за которыми мы охотимся, так или иначе нужно вводить в систему стохастику, то есть случайность. Наиболее распространенный способ - предположить, что начальные условия случайны. Мы же действуем по-другому, добавляем случайное возмущение прямо в уравнение. В результате случайности получается больше, но зато и результаты сильнее. Поэтому мы и называем модель стохастической. Подобную модель впервые предложили Владимир

Захаров и Виктор Львов в статье 1975 года, поэтому получается, что мы следуем их подходу.

- Долго ли вы собираетесь развивать модель?

- Сейчас мы находимся в завершающей стадии обоснования ключевой части теории. Пытаемся доказать, что приближенное решение нашей системы действительно близко к настоящему решению. Если это так, то мы выведем волновое кинетическое уравнение уже для настоящего решения. Мы верим, что, если получится, то откроется фактически целая новая область для дальнейшего исследования. А новые, хорошие, сложные, но отнюдь не безнадежные задачи - это то, чем живет математика, и то, что часто так трудно найти.

Можно идти в глубь: в теории еще много фундаментальных вопросов, и не понятно, как к ним подступиться. Можно и в ширь: пока мы рассматриваем только самую простую модель, заданную нелинейным уравнением Шредингера. А нужно попробовать применить нашу технику к другим, более сложным моделям. Можно идти даже за пределы теории: рядом есть другие важные открытые вопросы математической физики, к которым, как нам кажется, можно применить наш подход. Например, обоснование теории Пайерлса теплопроводности в кристаллах. Но это все мечты, а пока нужно завершить то, что мы делаем сейчас.

Между прочим, наша задача уже решена группой ученых, работа-

ющих в США. В прошлом году они выпустили статью, завершающую серию их предыдущих публикаций, где им удалось строго вывести волновое кинетическое уравнение для модели, несколько отличной от нашей. Это очень сильная работа, но у нее есть существенный недостаток. В некотором смысле они решили задачу в лоб, и это вылилось более чем в 130 страниц математики для самой простой модели. Основу этой математики составляет комбинаторика графов, где происходят необъяснимые сокращения, которые и дают нужный результат. Повторюсь, это чрезвычайно сильная работа, и я был бы очень рад числиться среди ее авторов, но мне сложно назвать это хорошим пониманием задачи. В

частности, их статью очень сложно проверить, то есть сложно проверить верность их решения. К тому же раз для простейшей модели нужно писать больше 130 страниц, то, на мой взгляд, это ставит под вопрос дальнейшее развитие области. Подтверждением этой мысли служит то, что вслед за этой работой через пару месяцев вышла статья другой группы, где похожая техника применялась к более сложной системе. И это уже заняло больше 200 страниц. Мы же думаем, что все должно работать иначе, заметно проще, и пытаемся развить другой подход, который даст нормальное понимание происходящего и сделает все значительно компактнее, позволив двигать эту науку дальше. ■

Горизонты

Крепя сотрудничество

Валерий Фальков выступил на Международном форуме министров образования

► Министр науки и высшего образования Валерий Фальков выступил с докладом на открытии Международного форума министров образования «Формируя будущее» в Казани. На форуме собрались участники из более чем 30 стран, в том числе 18 министров образования из Кубы, Венесуэлы, Конго, Мьянмы, Зимбабве, Пакистана, Катара, Афганистана и др.

Глава Минобрнауки затронул тему сотрудничества с другими государствами в области науки и высшего образования. Министр напомнил, что сегодня действуют более 230 двусторонних соглашений и меморандумов о сотрудничестве. Их перечень постоянно пополняется. В высокой степени готовности к подписанию проекты договоров с Венесуэлой, Перу, Вьетнамом, Индонезией, Пакистаном, ЮАР и странами СНГ. На финальной стадии проработки находятся программа сотрудничества с Таиландом, дорожные карты с Китаем и Казахстаном. В этом году продолжается реализация комплексных планов действий с Вьетнамом, Монголией и Израилем, дорожных карт с Африкой, Индией, ЮАР, Анголой и Сирией и другими странами.

По словам В.Фалькова, все вопросы признания российского образования за рубежом про-

должат решаться максимально оперативно. Для этого действуют более 70 договоров в области взаимного признания дипломов, квалификаций и ученых степеней со странами Африки, Европы, Азии, СНГ, ЕАЭС, Центральной и Южной Америки.

Сегодня обучение в российских вузах проходят более 350 тысяч иностранных студентов. При этом ежегодно увеличивается квота Правительства РФ для бесплатного обучения иностранцев в России. За последние три года она выросла в два раза - с 15 до 30 тысяч.

В Армении, Белоруссии, Киргизии и Таджикистане много лет действуют совместные (славянские) университеты. В настоящее время только в странах СНГ открыты 26 филиалов российских образовательных организаций.

Также министр отметил, что в России сегодня представлена крупная исследовательская инфраструктура, открытая для иностранного участия, в которой 17 центров мирового уровня и 11 региональных математических центров. В частности, это проекты класса мегасайенс, такие как NISA в Дубне, «РИФ» на острове Русский, ПИК в Гатчине, КИСИ в Москве, «СКИФ» в Кольцово, «Омега» и «Сила» в Протвино. ■



Фото пресс-службы СтГАУ

Вышли за рамки

Человеческий череп можно протезировать

► Работы исследователей Центра прототипирования инжиниринга «Вектор», действующего на базе Ставропольского государственного аграрного университета, вышли далеко за рамки задач агропромышленного комплекса. Здесь занимаются созданием медицинских протезов для устранения травм и дефектов черепа.

С помощью специальных компьютерных программ специалисты обрабатывают и анализируют результаты компьютерной томографии и на их основе создают высокоточные 3D-модели черепной коробки, соблюдая все физиологические и возрастные особенности ее строения. Затем создаются цифровые копии поврежденных участков, которые являются основой изготовления протезов.

- Сегодня мы способны «закрыть» практически любой дефект черепа индивидуальным имплантом-пластиной и восстановить целостность костей после переломов, огнестрельных ранений, нейрохирургических вмешательств», - рассказал

декан инженерно-технологического факультета СтГАУ кандидат технических наук Егор Кулаев.

Для производства имплантов инженеры СтГАУ используют специальную медицинскую сталь или же биосовместимые пластики, которые безопасны для жизнедеятельности человека. В центре «Вектор» в настоящее время доступны сразу две технологии изготовления: методом литья в силиконовых формах или 3D-печати.

- Мы давно вышли за рамки только сельскохозяйственной направленности, подчеркнул ректор Ставропольского ГАУ Владимир Ситников. - Наши научные компетенции и технологические возможности могут стать серьезным подспорьем и для медицинских учреждений не только Ставропольского края, но и других субъектов России».

Врачами края уже проведены более 100 операций с использованием протезов, разработанных исследователями и инженерами СтГАУ. ■

С прицелом на будущее

Исследовательские компетенции получают финансовую поддержку

► В Майкопском государственном технологическом университете (МГТУ) подвели итоги конкурса научно-исследовательских проектов. Цель - активизировать решение стратегических задач развития вуза и вовлечь научно-педагогических работников в исследовательский процесс. Также конкурс нацелен на развитие научного потенциала и формирование исследовательских компетенций аспирантов и молодых ученых.

Всего было предложено семь проектов: по два в области технических и социально-гуманитарных наук; три - естественно-научных. По итогам конкурса экспертная комиссия решила оказать финансовую поддержку шести из них.

Так, по направлению «Технические науки» это «Разработка пищевых продуктов функционального назначения для профилактики дефицита калия, вызванного несбалансированным питанием и различными стрессовыми ситуациями», а также «Новые биопродукты функционального

назначения: расширение ассортимента, пролонгирование сроков хранения, инновационные технологии». В естественно-научном направлении победителями признаны проекты «Экспериментально-клиническое обоснование методов оздоровления посредством регуляции процесса аутофагии у лиц разного веса, возраста, гендерной принадлежности», «Разработка и обоснование состава, технология и стандартизация новых лекарственных форм ангиопротекторного, противомикробного и диуретического действия», а также «Модель многофункциональной карбоновой фермы, создаваемой на основе селекции с использованием искусственного интеллекта».

Финансовая поддержка ректора МГТУ Саиды Куижевой позволит исполнителям провести дальнейшие исследования, представить полученные результаты в высокорейтинговых научных журналах, на международных и всероссийских конференциях. ■