

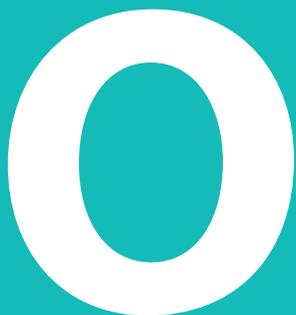


Профессор РАН **Сергей Головин:**

# **из пушки — на Луну...**

и дальше

## Наши теоретические знания, полученные в лабораториях, хорошо вписались в объяснения глобальных процессов в масштабах Земли



дин из самых удивительных институтов СО РАН — Институт гидродинамики им. академика М.А. Лаврентьева, сокращенно ИГиЛ. Но этот ИГиЛ работает исключительно на благо человечества. А удивителен институт тем, что, несмотря на водную тематику, обозначенную в названии, занимается он не только водой, но всеми волновыми процессами, происходящими в твердой, жидкой, газообразной среде и даже в плазме. Здесь изучают все — от движения крови в сосудах до образования галактик. И об этом — наш разговор с директором института, доктором физико-математических наук, профессором РАН **Сергеем Валерьевичем Головиным.**

### — Сергей Валерьевич, ваш институт был основан академиком М.А. Лаврентьевым?

— Да, и здесь находится мемориальный кабинет Михаила Алексеевича, в котором когда-то заседал президиум Сибирского отделения академии наук, включая С.Л. Соболева, С.А. Христиановича и других основателей Сибирского отделения. Направления, которые и сейчас здесь развиваются, во многом связаны с теми, что заложил в свое время Михаил Алексеевич. Основное наше направление — это механика жидкости и газа. Вообще говоря, механика сплошной среды — общая наука и, хоть она и разделяет внутри себя гидродинамику и механику твердого тела, математические идеи и экспериментальное моделирование во многом близки друг другу. Поэтому с точки зрения науки твердое тело не всегда отличается от жидкости.

Еще одна тематика, которая тоже широко у нас представлена, — это быстро протекающие процессы. По-простому говоря, взрыв. Это взрывы конденсированных сред, то есть твердых веществ, и газовая детонация. Данное направление появилось тоже благодаря интересам Михаила Алексеевича Лаврентьева. Известно, что он первым предложил гидродинамическую теорию кумуляции, объяснив, по каким законам

происходит взаимодействие кумулятивной струи с преградой. Во время Второй мировой войны кумулятивные снаряды стали активно применяться для того, чтобы пробивать танковую броню, и процесс экспериментально был налицо, но никто не мог описать его математически. Михаил Алексеевич предложил рассматривать материал брони и облицовки кумулятивного снаряда как идеальные жидкости. Оказалось, что эта модель очень хорошо описывала экспериментально наблюдаемые факты. Но сначала это, конечно, вызвало непонимание. Как так: броня, металл, твердь, все могут постучать по ней кулаком, а вы описываете их при помощи модели жидкости? Но оказалось, что при больших нагрузках, при высоких энергиях и скоростях силы сцепления частичек металла уже не играют никакой роли, а существенными становятся законы сохранения, которые заложены в механике жидкостей. Это лишний раз говорит о том, что все сплошные среды едины и могут описываться при помощи схожих подходов.

— **Есть расхожая шутка из старого КВН, где команда Новосибирского университета в свое время охарактеризовала работу Института гидродинамики как «сварку взрывом, клепку газом и сборку трезвым». Сейчас это актуально?**



Профессор РАН С.В. Головин

— Сварка взрывом — это явление, которое было обнаружено случайно, во время упрочнения стрелок для трамвайных или железнодорожных путей. Упрочнение производилось при помощи взрыва. Было обнаружено, что при некоторых условиях соударяющиеся в результате взрыва металлы могут привариваться друг к другу так, что их невозможно потом друг от друга оторвать. Сначала это было расценено как нежелательное явление, но вскоре люди поняли, что его можно использовать в народном хозяйстве для сварки поверхностей металлов, когда это не удастся сделать традиционным способом. С тех пор тематика получила широкое развитие в России, и в мире. Сейчас она вышла за область научного знания и стала технологическим, инженерным знанием. Но, тем не менее, исторически данное направление зародилось именно у нас в институте.

Этим, конечно, наша работа не ограничивается. У нас ведется множество самых разнообразных исследований. Одно из недавно начатых связано с сотрудничеством с клиникой им. Н.Е. Мешалкина, всем известным НИИ патологии кровообращения. Хирурги спросили, не можем ли мы провести математическое моделирование и дать научную оценку тем экспериментальным фактам, которые они наблюдают во время операций. Поскольку

течение крови по сосудам, по тканям человека — это прежде всего гидродинамический процесс, то, естественно, можно задействовать здесь достижения науки. Известно, что Леонард Эйлер, один из первых ученых только что созданной в 1724 г. Российской академии наук, был приглашен по направлению физиологии, хотя был механиком и математиком, и знаменитые уравнения Эйлера, уравнения идеальной жидкости, были придуманы как раз для описания течения крови по кровеносным сосудам. Но с тех пор наука ушла далеко вперед, появились новые методики измерения, суперкомпьютеры, которые позволяют очень точно моделировать течение жидкости. Появились новые модели, подходы к моделированию. Сейчас мы можем на очень глубоком и детальном уровне проводить анализ всех этих процессов.

В результате родился интеграционный проект, в котором, помимо клиники им. Н.Е. Мешалкина, участвуем мы, Институт цитологии и генетики, Международный томографический центр СО РАН и многие другие организации, которые исследуют те патологии и нежелательные явления, которые происходят в организме и с которыми борются наши хирурги. В частности, это артериовенозные мальформации головного мозга, или аневризмы.

**— Вы так бодро произносите сложные медицинские термины, хотя не врач...**

— Я их уже пять лет произношу. Запомнил. Недавно была принята к публикации статья в *Journal of Fluid Mechanics*, одном из ведущих журналов по гидродинамике, в которой мы с коллегами предложили модель описания тех эффектов, которые наблюдаются при течении крови в головном мозге, в том числе при наличии артериовенозной мальформации. Это такая врожденная сосудистая аномалия, когда артериальная кровь непосредственно, минуя капиллярную сеть, попадает в венозные сосуды. При этом нарушается снабжение тканей питательными веществами, что вследствие разрыва сосудов и кровоизлияния приводит ко многим нежелательным последствиям вплоть до летального исхода.

Руководитель данного направления в нашем институте — заведующий лабораторией дифференциальных уравнений Александр Павлович Чупахин. В клинике им. Н.Е. Мешалкина было приобретено дополнительное измерительное оборудование, при помощи которого во время операции можно измерять скорость потока и давление крови непосредственно в кровеносных сосудах. Таким образом, с одной стороны, хирурги получают дополнительную информацию, которая позволяет проводить операцию оптимальным образом, с другой — для нас это бесценный экспериментальный материал, который показывает, каковы эти параметры в конкретных сосудах. Данные позволяют моделировать такие потоки на компьютере.

Другое направление связано с томографией взрывных процессов. Взрыв для нас выступает инструментом исследования и одновременно самим объектом, который мы исследуем. Все знают про рентген, флюорографию, когда можно внутренние органы просветить и узнать, что происходит внутри. Обычная флюорография — это доли секунды. У нас же задача та же самая, только сделать это в тысячу или в миллион раз быстрее, не за одну секунду, а миллион раз в секунду фотографировать какой-нибудь объект.

— **А зачем?**

— Допустим, это динамический объект. Тот же взрыв, то же формирование кумулятивной струи: когда вылетает струя, все происходит за микро-секунды. Если вы не успеете за эту микросекунду объект рассмотреть — все, он для вас уже не существует, вы видите только последствия, как, собственно, и было раньше. А так можно воочию, просвечивая его рентгеном, увидеть сам процесс и его изучить. Мы можем снимать рентгеновское кино.

— **И вы уже сняли такие фильмы?**

— Сняли.

— **И что конкретно смогли в результате изучить? Судя по таинственной улыбке, это секретные работы, военный заказ?**

— Оборонный заказ у нас тоже есть. Мы плотно сотрудничаем с российскими ядерными центрами в Сарове и Снежинске, которые напрямую занимаются поддержанием ядерной боеспособности оружия. А там очень много вопросов. И большинство из них связаны уже не с тем, как бы сделать бомбу помощнее, кого-то там догнать или перегнать. Вопросы гораздо более тонкие и серьезные — безопасность прежде всего. Всех волнует, чтобы этот ядерный боезапас вел себя предсказуемо. Нужен прогноз, что будет, если случится, например, пожар или другая неадекватная ситуация. Россия, Соединенные Штаты, все ядерные державы решают вопросы, связанные с безопасностью.

— **Наверное, у вас имеются какие-то задачи, связанные с изучением воды? Все-таки Институт гидродинамики...**

— Одна из таких работ — это крупный международный проект, куда вовлечено множество организаций, в том числе мы и Институт океанологии им. П.П. Ширшова. Работа посвящена исследованию течения антарктической воды, ее распространению по Мировому океану. Антарктическая вода холодная, поскольку находится рядом с полюсом. Так вот, оказывается, эта вода распространяется по донным котловинам Атлантического океана практически до экватора, и даже в районе Гибралтара можно найти ее следы. И это, естественно, сказывается на климате всей планеты, а значит, должно исследоваться. Котловины

заполнены холодной антарктической водой и соединены каналами; по этим каналам происходит переток жидкости из одной котловины в другую. Мощность течения по этим каналам превышает ту, что имеется у всех пресноводных рек вместе взятых. Много лет проходят экспедиции, исследующие эти течения. В них участвуют ученые из Института гидродинамики В.Ю. Ляпидевский и Н.И. Макаренко. Оказалось, что экспериментальные постановки и математические модели, которые были развиты в нашем институте, очень хорошо позволяют объяснять те натурные факты, которые мы видим в экспедиционных данных. Наши теоретические знания, полученные в лаборатории, хорошо вписались в объяснения глобальных процессов в масштабах Земли.

— **А что за грант Фонда Марии Кюри получил ваш сотрудник Евгений Валерьевич Ерманюк?**

— Это очень престижный грант для работы по изучению так называемых аттракторов внутренних волн. В океане существуют приливные волны, связанные с движением Луны, которая притягивает водные массы, и они совершают медленные колебания. Если на дне океана имеются какие-то неровности, хребты, возвышенности, то, взаимодействуя с медленными приливными волнами, они начинают генерировать внутреннюю волну. Эта внутренняя волна идет внутри жидкости, на поверхности мы ее не видим. Движение волн происходит по определенным законам. Когда она достигает свободной поверхности или какого-то другого препятствия, то от него отражается. Таким образом, получается некий бильярд,



Заместитель директора ИГиЛ по научной работе Э.Р. Прууэл

когда внутренняя волна распространяется под определенным углом к вертикали, отражаясь от различных препятствий.

Зачастую внутренние волны собираются в районе так называемых аттракторов. То есть они находят такую траекторию, двигаясь по которой, все время будут возвращаться на нее же саму. И здесь появляется очень интересный эффект. Медленные приливные волны после многократного отражения и попадания в эти аттракторы начинают возбуждать волны уже совсем другой частоты и амплитуды. Таким образом, происходит перекачка энергии из медленных движений в быстрые. Все это важно изучать потому, что процессы эти напрямую связаны с перераспределением питательных веществ по глубине океана, с переносом кислорода, с биоразнообразием. То есть все эти вещи взаимосвязаны. Эта тематика привлекает большое внимание во всем мире.

Организовывались экспедиции, которые должны были обнаружить эти аттракторы. Но как-то не получалось. Достижение Е.В. Ерманыюка состоит как раз в том, что он сумел получить аттракторы внутренних волн в лабораторных условиях и изучить их динамику. Была сконструирована специальная лабораторная установка, в которой эти аттракторы воспроизводились. Причем выяснилось, что они существуют очень недолго. В какой-то момент они начинают разрушаться в силу неустойчивостей, которые в них заложены природой, и это приводит к появлению специальной структуры, которая далека от идеальной.

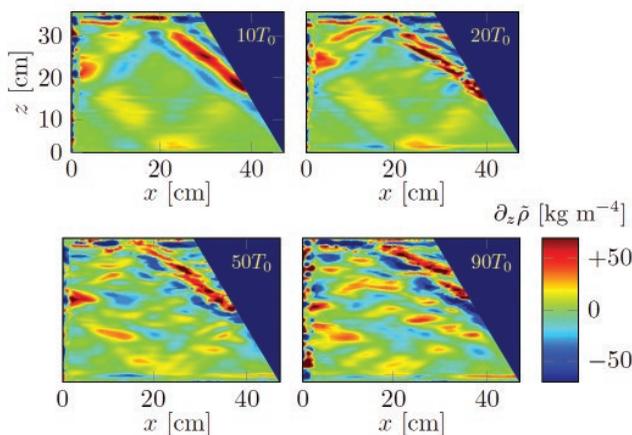


Основатели СО АН СССР (академики С.А. Христианович, С.Л. Соколов, М.А. Лаврентьев, А.А. Трофимук)

Данное исследование проливает свет на вопрос, почему все экспедиции по обнаружению аттракторов оказывались неудачными: именно потому, что аттракторы живут очень недолго.

**— У вас есть лаборатория детонационных течений, изучающая газовую детонацию. Что это такое?**

— Все знают, что, если зажечь зажигалку, мы увидим пламя, и горение пламени будет происходить со скоростью порядка нескольких сантиметров в секунду. Можно представить себе какой-нибудь газовый фонтан, турбулентное горение, где пламя грохочет, шумит, и такое горение будет происходить со скоростью порядка сотни метров в секунду. Но, оказывается, горение может происходить и со скоростью порядка километров в секунду. Это очень быстрое горение во фронте ударной волны, которая разогревает газ и инициирует горение. Сгорание, в свою очередь, ускоряет ударную волну, и оба процесса энергетически подпитывают друг друга. Быстрое горение и называется газовой детонацией. Представим себе ствол, заполненный газом, по которому проходит детонационная волна. Если мы будем повторять такой процесс раз за разом, то получим так называемый импульсный детонационный двигатель. А если во фронт детонационной волны поместить немного порошка какого-либо материала, то, во-первых, волна ускорит его до скоростей порядка сотен метров в секунду, во-вторых, сильно разогреет. Далее разогретый порошок вылетит из ствола и ударится о поверхность, которую мы поместим перед пушкой. Произойдет микросварка. Это идея так называемого детонационного напыления — технологии, которая позволяет напылять различные вещества на очень многие поверхности. Во всем мире очень серьезен интерес к этой тематике, потому



Развитие неустойчивости в аттракторе внутренних волн. Автор: Е.В. Ерманыюк.

Комплекс для томографии взрывных процессов при помощи синхротронного излучения. Автор: Э.Р. Прууэл.



по так называемой спиновой детонации, как раз и закладывают основы будущего детонационного двигателя.

Вообще гидродинамика — наука всеобъемлющая и неисчерпаемая. Гидродинамические модели и подходы используются не только в земных делах. Не зря же соответствующая специальность ВАК называется «механика жидкости, газа и плазмы», то есть имеется еще третье состояние вещества — плазма, или ионизированный газ. В основном все вещество во Вселенной находится в состоянии плазмы, это материал, из которого состоят Солнце и звезды. Все это описывается на основании тех же самых гидродинами-

ческих подходов, при помощи уравнений магнитной гидродинамики, которые основаны на идеях законов сохранения с применением соответствующих уравнений Максвелла. Не случайно те люди, которые умеют описывать взаимодействия нелинейных волн в океане (к ним относятся знаменитые волны-убийцы), рассчитывают и столкновения галактик или взаимодействие аккреционных дисков возле звезд. Поэтому, даже если работаешь в какой-то теоретической области, далеко от прикладных возможностей, очень часто находят выходы на практические вещи, крайне важные для нашей земной жизни. ■

что, варьируя параметры газовых смесей, ствола пушки, порошка можно наносить нужные вещества на нужные поверхности в оптимальных режимах. Эта тематика у нас активно развивается, работы по ней ведут В.Ю. Ульяницкий и его лаборатория детонационных течений.

— Давайте вернемся к теме использования детонационной пушки в качестве двигателя. Это что же, новый тип двигателя?

— Очевидный недостаток такого двигателя — то, что он будет вибрировать, а это приводит к различным нежелательным последствиям. Чтобы прекратить вибрацию, нужно сделать процесс непрерывным. Но как? Ответ опять же родился в стенах нашего института стараниями великого ученого Богдана Вячеславовича Войцеховского. Он в свое время решил: а давайте заставим детонационную волну бегать по кругу! И нашел технический способ это сделать, взяв два соосных цилиндра, и в промежуток между ними стал подавать то самое вещество, которое мы сжигаем. Это не новая разработка. Однако сейчас речь действительно идет о принципиально новом типе двигателя, который мы хотим усовершенствовать. Дело в том, что сгорание топлива в обычном режиме горения с точки зрения термодинамики — не оптимальный процесс. Оптимально как раз сгорание в детонационном режиме. В лаборатории динамики гетерогенных систем нашего института создаются научные основы турбореактивного двигателя, в котором горение происходило бы в детонационном режиме. Из-за термодинамических соображений такой двигатель работал бы более эффективно, чем все ныне существующие. Это означает и большие скорости, и экономию топлива, и множество других плюсов. Те экспериментальные исследования и расчеты, которые делаются в нашем институте



Беседавала Наталья Лескова

## СПРАВКА

### Сергей Валерьевич Головин

- Директор Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, доктор физико-математических наук, профессор РАН.
- Родился 25 марта 1974 г. в Чкаловске (Таджикистан).
- Окончил механико-математический факультет Новосибирского государственного университета (1995).
- **Спектр научных интересов:** механика жидкости, газа и плазмы, математическое моделирование в механике сплошных сред.
- **Достижения:** построение, классификация и исследование классов точных решений для нелинейных уравнений газовой динамики, гидродинамики и магнито-гидродинамики, доказательство теоремы об иерархии частично инвариантных решений, математическое моделирование процессов нефтегазодобычи.
- **Награды и премии:** лауреат премии им. 50-летия СО РАН.