



НИЖЕГОРОДСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

№ 2 (10), 2013 г.

ВЕСТНИК НИЖЕГОРОДСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

В НОМЕРЕ:

стр. 2

К 80-летию
академика В.И. Таланова



стр. 13

Формула успеха
Разговор с А.Л. Вихаревым



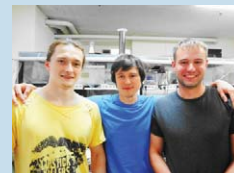
стр. 15

Наука без границ
Плазменное зазеркалье...



стр. 17

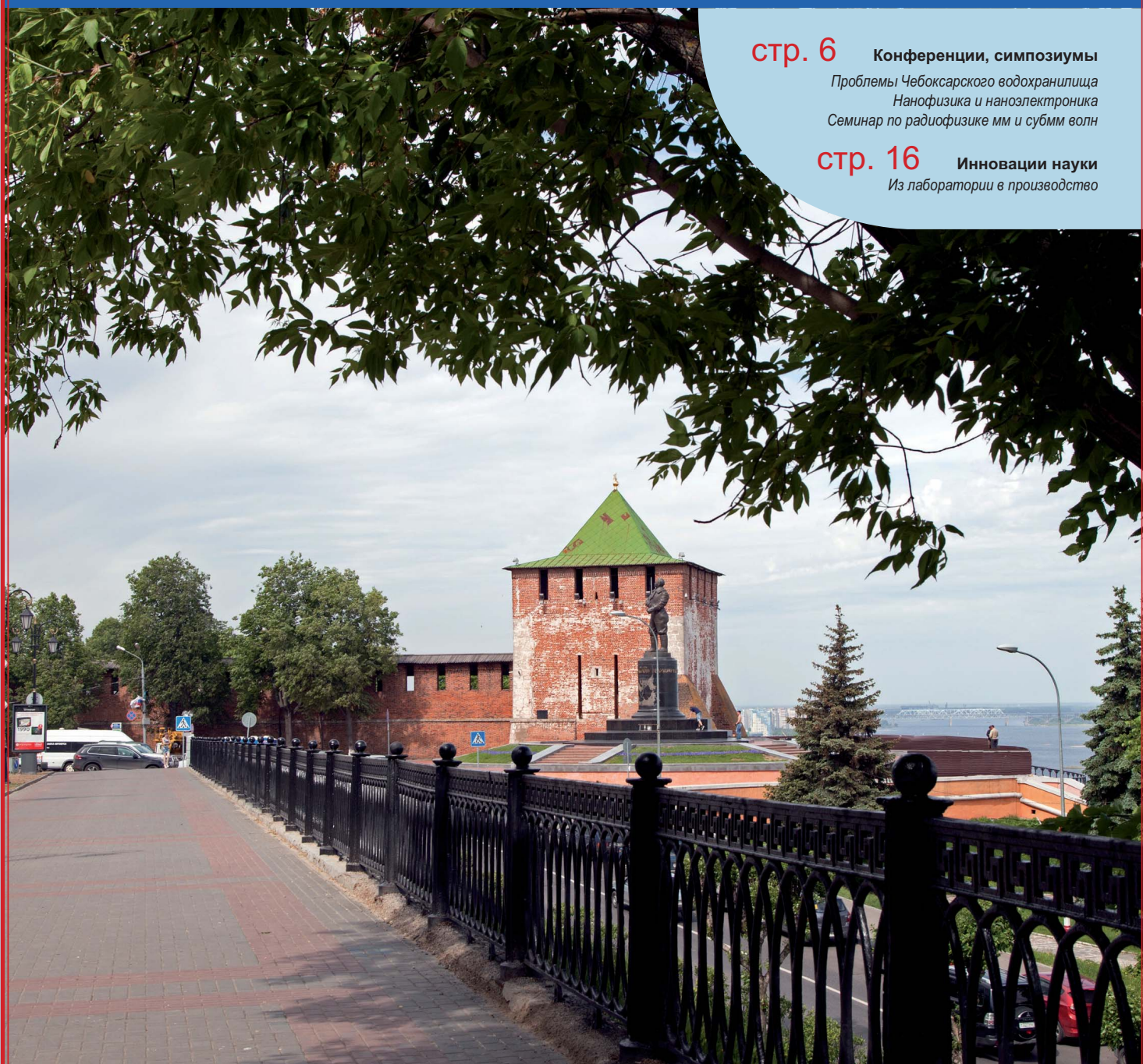
Новые имена
Д. Фадеев, С. Бодров, И. Ильяков



стр. 6 Конференции, симпозиумы

*Проблемы Чебоксарского водохранилища
Нанозфизика и нанозлектроника
Семинар по радиофизике мм и субмм волн*

стр. 16 Инновации науки
Из лаборатории в производство



Краткая справка. В.И. Таланов родился в г. Горьком 9 июня 1933 г. В 1955 г. он окончил радиофизический факультет Горьковского университета и поступил в аспирантуру, в которой выполнил свои первые исследования под руководством профессора М.А. Миллера и защитил кандидатскую диссертацию (1959). В 1957–1977 гг. В.И. Таланов работал в Научно-исследовательском радиофизическом институте, где в 1967 г. защитил докторскую диссертацию.



В 1977 г., при образовании Института прикладной физики РАН, он возглавил отдел нелинейных колебаний и волн ИПФ РАН; параллельно с этим с 1988 по 2003 годы руководил Отделением гидрофизики и гидроакустики ИПФ РАН. В настоящее время В.И. Таланов – советник РАН.

В 1987 г. В.И. Таланов был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1992 г. – действительным членом РАН.

В.И. Таланов – автор пионерских результатов в области дифракции поверхностных электромагнитных волн, квазиоптики, нелинейной оптики, нелинейной динамики волновых процессов в океане, физической акустики. Широкую известность приобрели его работы по теории квазиоптических систем передачи излучения, теории синтеза антенн, теоретическим и экспериментальным исследованиям явления самофокусировки световых пучков в различных средах, теории волнового коллапса, динамике пакетов высокочастотных волн и солитонов в неоднородных нестационарных средах, взаимодействию ветрового волнения с внутренними волнами и течениями в океане, физическому моделированию волновых процессов в стратифицированном океане, когерентной сейсмоакустике.

Под руководством В.И. Таланова в Отделении гидрофизики и гидроакустики ИПФ РАН выполнен обширный цикл фундаментальных и прикладных исследований в целях разработки радиофизических методов и средств дистанционной диагностики океана (включая радиолокационные, оптические и акустические методы). На основе предложенных им физических принципов был создан и пущен в эксплуатацию (1991) уникальный экспериментальный стенд национальной значимости – Большой термостратифицированный бассейн ИПФ РАН.

За исследования явления самофокусировки электромагнитных волн В.И. Таланов удостоен Ленинской премии (в составе коллектива, 1991).

За исследования в области гидрофизики и гидроакустики В.И. Таланов награжден орденом Трудового Красного Знамени (1989) и медалью «300 лет Российскому флоту» (1996).

В течение многих лет научную деятельность В.И. Таланов совмещал с преподаванием на радиофизическом факультете ННГУ, студентам которого он читал как общие курсы по теории электромагнитного поля, так и оригинальный курс по асимптотическим методам теории волн, возглавлял одну из ведущих кафедр факультета – кафедру электродинамики (1973–2002). В 2000 г. В.И. Таланову присвоено звание почетного профессора ННГУ.

В 2010 г. на базе коллектива научной школы В.И. Таланова в ИПФ РАН был создан Научно-образовательный центр «Радиофизические методы диагностики природных сред: фундаментальные основы, моделирование, натурные эксперименты», который объединил исследования и подготовку научных кадров по нескольким актуальным направлениям в этой области радиофизики.

О научной школе академика В.И. Таланова

Научные школы могут формироваться различными путями. Конечно, основной компонент любой такой школы – ее научный лидер, вокруг и на основе идей которого объединяется коллектив. Но предмет объединения по своей природе может быть различным. Школа академика В.И. Таланова представляет собой пример такой школы, где главное объединяющее звено заключается в общности подхода к решению задач, причем сами эти задачи относятся к весьма различным и даже далеким (по формальным признакам) направлениям исследований. Это объединение, скорее, не по объекту исследований, а по подходу к исследованию различных объектов. Действительно, среди научных направлений школы – нелинейная оптика и оптика мутных сред, электродинамика волновых пучков и пакетов в диспергирующих средах, волновые процессы в океане, радиолокационное зондирование морской поверхности, сейсмоакустика высокого разрешения... Вместе с тем, исследования по всем этим направлениям объединены общей методологической основой, что и позволяет говорить о школе как о коллективе единомышленников, говорящих «на

одном языке». Эта основа – современная квазиоптика. Название школы так и формулируется: «Квазиоптические методы в теории дифракции, распространения и нелинейного самовоздействия и взаимодействия волн».

В буквальном смысле, термин «квазиоптика» означает «почти оптика». Что понимается под этим «почти»? Термин возник в те послевоенные годы, когда наиболее актуальной в электродинамике стала задача практического освоения коротковолнового (миллиметрового и уже «близкого» к оптическому) диапазона электромагнитных волн. Поскольку волновые размеры всех передающих, транспортирующих или приемных устройств (антенн, волноводов, резонаторов) с уменьшением рабочей длины волны возрастают, то в более широком (и не связанном именно с электродинамикой СВЧ) понимании квазиоптика – это физика сверхразмерных (т. е. весьма больших в масштабе длины волны) волновых систем и явлений. Характерные значения таких безразмерных масштабов лежат в диапазоне ~10...1000. Если еще больше, то это уже скорее «чистая» (точнее – геометрическая) оптика, и волновой характер поля можно при этом практически не учитывать. Если менее ~10, то это не настолько короткие волны, чтобы использовать асимптотические подходы, приближение малого параметра здесь уже не работает. Важно, что приведенная оценка «сверхразмерности» системы или канала распространения волн не зависит от того, о волнах какой природы идет речь. К примеру, многомодовый волоконный световод в ближнем ИК-диапазоне (характерные поперечные размеры ~10...100 мкм, длина волны света ~1 мкм) и подводный звуковой канал в типичном для многих применений диапазоне низких частот (характерные поперечные размеры ~100...1000 м, длина волны звука ~1...10 м), несмотря на свои совершенно разные материальные воплощения, – суть квазиоптические линии передачи излучения (оптического и акустического соответственно).

Если не затрагивать предмет с самых его основ (вспоминая работы О. Френеля, Г. Кирхгофа и других классиков физической оптики) и ограничиться современным состоянием, то можно с уверенностью отметить, что отечественные ученые внесли выдающийся вклад

Академик А.В. Гапонов-Грехов:

Радиофизика – относительно молодая область физики, в которой с самого ее зарождения нижегородцы приняли заметное участие. Первые в стране радиофизический факультет университета, радиофизический НИИ – НИРФИ, специализированный журнал – «Известия вузов. Радиофизика». Вместе с тем, строгого и общепринятого определения радиофизики как «отдельной» области науки до сих пор нет, несмотря на ее признание в качестве таковой в научном сообществе (даже по всем формальным признакам, включая наличие специальности ВАК). Тем не менее можно утверждать: то, что делает академик В.И. Таланов, – это и есть Радиофизика, причем радиофизика самого высокого уровня!

Академик А.Г. Литвак:

Я стал аспирантом М.А. Миллера в 1962 году, и так получилось, что на моих глазах В.И. Таланов занялся линейной электродинамикой квазиоптических систем и построил первое решение в теории самофокусировки электромагнитных волн. Объединив эти два направления, он развил получившую мировое признание теорию самовоздействия параксиальных волновых пучков в нелинейных средах. Здесь особенно ярко, на мой взгляд, проявилось характерное для В.И. Таланова умение демонстрировать новые физические идеи на простых моделях в сочетании с первоклассным владением аппаратом матфизики для получения точных решений. Мне очень повезло, что на начальном этапе моей работы в науке я имел возможность тесного контакта и непосредственного сотрудничества с Владимиром Ильичом.

в развитие квазиоптики. Начиная с работ Л.А. Вайнштейна и Б.З. Каценеленбаума, выполненных еще в 1950–1960-е годы, квазиоптические методы исследования сверхразмерных линейных систем – волноводов и резонаторов – стали важнейшей частью физики СВЧ и радиофизики в целом. Эта же тематика активно развивалась на кафедре электродинамики СВЧ радиофизического факультета и параллельно в НИРФИ, особенно в связи с работами по мощной вакуумной электронике. И именно эта область электродинамики, которой В.И. Таланов занялся, начиная со своих первых аспирантских работ под руководством профессора М.А. Миллера во второй половине 1950-х годов, послужила отправной точкой для дальнейших его исследований.

В цикле работ В.И. Таланова начала 1960-х годов в квазиоптику был широко «внедрен» метод параболического уравнения (предложенного в 1944 году академиком М.А. Леонтовичем для решения задачи о распространении радиоволн вдоль земной поверхности). Во многом благодаря этим пионерским работам В.И. Таланова и развитию им универсальному операторному методу анализа волновых пучков теория квазиоптических линий передачи и резонаторов приобрела свой современный вид. Одна из ключевых задач квазиоптики – селекция мод, т. е. избирательный анализ тех пространственных конфигураций волнового поля, которые формируются благодаря достаточно большому поперечному волновому размеру системы. Эффективные методы модовой селекции, передачи излучения с конечной апертуры на апертуру, которые были тогда развиты В.И. Талановым (совместно с Н.Г. Бондаренко, С.Н. Власовым), не потеряли своей актуальности и сегодня. Напротив, сейчас это рабочий инструмент анализа и синтеза линий передачи для многих приложений, в том числе для создания трактов передачи мощного СВЧ-излучения в установках нагрева плазмы.

Все эти исследования имели явную практическую направленность, но актуальность их только возросла в связи с бурным развитием квантовой электроники, когда были созданы источники когерентного ЭМ-излучения (мазеры и лазеры). Открытые резонаторы стали основным элементом их конструкции, обеспечивающим многократное накопление мощности когерентного волнового пучка. Дальнейший

прогресс в разработке квантовых генераторов оптического диапазона быстро привел к появлению совершенно нового раздела физики – нелинейной оптики. То десятилетие «шестидесятых» можно смело называть «нелинейными годами» в физике, поскольку именно в эти годы сформировалась парадигма нелинейных волн и нелинейных сред как обобщение уже понятых ранее сосредоточенных нелинейных колебаний на распределенные системы.

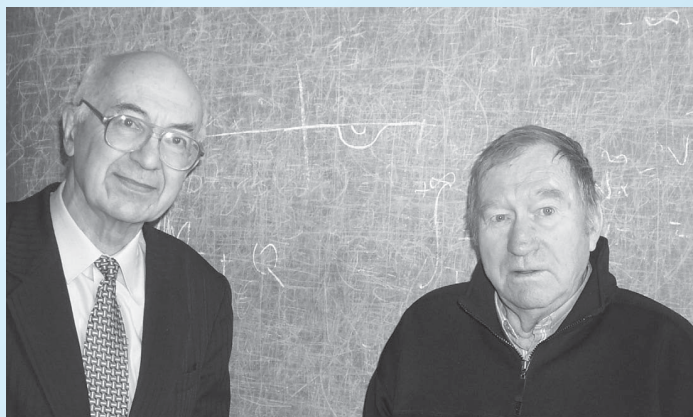
Быстро включившись в столь актуальную новую область, В.И. Таланов параллельно с работами по линейной квазиоптике стал разрабатывать аппарат нелинейной квазиоптики, в основу которого им было положено нелинейное параболическое уравнение, или, как его чаще называют, нелинейное уравнение Шредингера (НУШ). В результате был выполнен широкий круг исследований по нелинейной динамике мощного оптического излучения в различных средах, прежде всего нелинейных явлений самовоздействия волновых пучков. Из этого цикла работ В.И. Таланова наибольшую известность приобрели результаты по теории эффекта самофокусировки света в средах с так называемой кубической нелинейностью: автомодельные «самофокусирующиеся» решения НУШ (1965); критерий поперечной неустойчивости плоской волны в нелинейной среде (совместно с В.И. Беспаловым, 1966); общая теория пространственно-временного самовоздействия волн в диспергирующих средах (совместно с А.Г. Литваком, 1967); метод усредненного описания волновых пучков в нелинейных средах (метод моментов), позволивший сформулировать критерий самофокусировки пучков произвольного профиля (совместно с С.Н. Власовым и В.А. Петрищевым, 1971); установление характера особенности поля вблизи фокуса (совместно с С.Н. Власовым и Л.В. Пискуновой, 1978). Эти результаты получили в дальнейшем развитие в теории волнового коллапса. Сингулярное «схлопывание» нелинейного волнового пакета – красивый и исключительно сложный для анализа процесс, который до сих пор остается популярным объектом исследования в нелинейной физике. Позднее, уже в 2000-х годах, В.И. Талановым был развит метод декомпозиции волновых уравнений с применением псевдодифференциальных операторов, позволяющий анализировать эффекты самофокусировки и модуляционной неустойчивости для широкополосных (по угловой и частотной переменным) пучков и фактически выйти за пределы формальной применимости квазиоптического приближения (совместно с С.Н. Власовым и Е.В. Копосовой).

Член-корреспондент РАН В.А. Зверев:

Владимир Ильич очень похож на своего учителя Михаила Адольфовича Миллера. Настоящее качество, что он будто бы клоном его самые лучшие, завидные качества. Та же принципиальность, тот же быстрый ум, те же энциклопедические познания и умение видеть, чувствовать актуальную тематику, что чрезвычайно важно. Работая многие годы рядом с ними, я всегда отмечал, что к Владимиру Ильичу точно так же, как и к Михаилу Адольфовичу, тянутся наиболее способные и талантливые люди.

Наряду с теоретическими достижениями группой В.И. Таланова – тогда еще в НИРФИ – были получены приоритетные экспериментальные результаты. Практически одновременно с аналогичными исследованиями в США и независимо от них был обнаружен эффект генерации спектрального континуума (суперконтинуума) при самофокусировке световых импульсов в среде с электронной нелинейностью (совместно с Н.Г. Бондаренко и И.В. Ереминой, 1970). Последовавшие вскоре экспериментальные и теоретические работы по нелинейному распространению мощного лазерного излучения в воздухе и атмосферных газах (совместно с В.С. Авербахом, А.И. Макаровым, А.К. Потемкиным) заложили основы нового направления – нелинейной оптики атмосферы. И суперконтинуум (как явление), и нелинейная оптика атмосферы (как целое направление) с тех пор оказались «заполненными» уже сотнями и тысячами публикаций, авторы которых далеко не всегда ссылаются и даже знакомы с первыми работами, но первые работы – всегда первые.

Этот кратко очерченный цикл исследований по линейной и нелинейной квазиоптике, выполненный Владимиром Ильичом и его учениками в НИРФИ и на кафедре электродинамики, и привел к созданию неформального коллектива – «школы Таланова».



В.И. Таланов и М.А. Миллер (2004)

Профессор М.И. Петелин:

В электродинамике у Володи и у меня был общий учитель – Михаил Адольфович Миллер. Затем – уже с квазиоптическим акцентом – учить меня стал сам Володя: разъяснит на пальцах интересный мне эффект и отошлет к конкретному месту в статье Л.А. Вайнштейна или Б.З. Каценеленбаума. В результате у нас – СВЧ-электронщиков больших мощностей – сложился очень плодотворный и приятный контакт с корифеями практической электродинамики, благодаря чему мы разработали для наших систем высокоселективные сверхразмерные резонаторы с дифракционным выводом излучения, преобразователи высших волноводных мод в гауссовы пучки и ряд новых элементов управления мощными квазиоптическими волновыми потоками.

Дальнейшее свое развитие школа получила уже в стенах ИПФ РАН, где возглавляемым В.И. Талановым коллективом были выполнены фундаментальные и прикладные исследования по целому ряду разделов радиофизики, оптики и акустики. Особое место среди них с конца 1970-х годов, со времени образования ИПФ РАН, занимают вопросы теории волн в приложении к физике верхнего слоя океана. Сам объект исследований – верхний слой океана – представляет собой богатый на эффекты «полигон» волновых явлений самых различных пространственных и временных масштабов, причем «полигон» существенно нестационарный и неоднородный и потому весьма непростой для анализа. Не удивительно поэтому, что здесь в особенной степени требовались такие подходы и методы, которые позволили бы выделить доминирующие явления и сформулировать достаточно универсальные их модели.



Участники Гордоновской конференции по нелинейной оптике (США, 1968) – В.И. Таланов, Н.Г. Басов, Р.В. Хохлов, А.М. Прохоров

Например, развитый в эти годы В.И. Талановым адиабатический подход к решению общей задачи взаимодействия волн существенно разных пространственно-временных масштабов привел к разработке экспериментально подтвержденной и ныне общепризнанной кинематической модели воздействия интенсивных внутренних волн на ветровое волнение, позволившей выяснить особенности трансформации спектра ветровых волн в поле переменного течения (совместно с А.Я. Басовичем и В.В. Бахановым). Это оказалось особенно важным с точки зрения анализа физических механизмов проявления на поверхности океана гидродинамических процессов в водной толще и развития дистанционных (оптических, радиолокационных) методов их диагностики – направления, которое и сейчас является одним из важнейших в физической океанологии, особенно в связи с развитием спутниковых средств диагностики. Значительную роль в успешной его разработке сыграл обширный цикл экспериментальных исследований на базе уникального лабораторного комплекса – Большого термостратифицированного бассейна ИПФ РАН. Сам этот бассейн, пущенный в эксплуатацию в 1991 году, основан на оригинальном принципе создания лабораторной модели верхнего слоя океана, который был предложен В.И. Талановым и конструктивно реализован (совместно с

С.Д. Богатыревым) сначала в ряде опытовых бассейнов меньших размеров, а затем – в данном комплексе. До настоящего времени это единственный в мире стенд, позволяющий проводить масштабное (характерное соотношение 1:100) моделирование волновых процессов в верхнем слое реального океана (плавно стратифицированного, а не двухслойного, как обычно это делают в лабораториях).

Параллельно с работами по гидрофизике в институте были проведены крупные работы по низкочастотной гидроакустике. Заделом для них послужили исследования, которые были результативно начаты еще в НИРФИ силами коллектива, возглавляемого членом-корреспондентом РАН В.А. Зверевым. Но в ИПФ РАН эти исследования и разработки приобрели совсем иной масштаб, и с самого своего начала основной акцент был сделан на активных методах «дальней» акустики океана, на масштабах распространения излучаемых сигналов в сотни и даже тысячи километров. Океан (тот же его верхний слой, где формируются и внутренние волны, и подводные течения) оказывается столь хорошим «проводником» для низкочастотного звука как раз по упомянутой в начале причине – благодаря наличию подводного звукового канала. Это та же, по сути своей, линейная квазиоптика, «арсенал» которой, развитый для управления полями в сверхразмерных СВЧ-волноводах, в акустике океана вполне применим (с той лишь оговоркой, что сами океанические волноводы заметно «испорчены» своей природной случайностью, влиянием взволнованной поверхности, поглощающего дна и т. д.).

Обратившись к этим задачам в середине 1980-х годов, В.И. Таланов разработал строгий (в смысле использования вариационного принципа) и типично квазиоптический подход к решению одной из ключевых задач – синтеза оптимальных распределений поля источников для возбуждения заданных суперпозиций волноводных мод. Аналогичные вариационные процедуры были затем развиты и для анализа методов оптимальной пространственной фильтрации частично-когерентных многомодовых сигналов, адаптивных методов управления акустическим полем в случайно-неоднородном океаническом волноводе, позволяющих селективировать пространственные «конфигурации» поля в соответствии с заданным критерием (совместно с А.И. Малехановым). Поскольку сами линии передачи излучения в подводной акустике оказываются случайными, то квазиоптический подход к их исследованию естественно сочетался в этих работах с методами, которые параллельно развивались в адаптивной оптике и теории адаптивных антенн.

Начиная с середины 1990-х годов накопленный в ИПФ РАН опыт исследований и разработок в области акустической диагностики океана по предложению В.И. Таланова стал постепенно расширяться в новом направлении – когерентной сейсмоакустики. Здесь основной упор был сделан на разработке методов сейсмоакустической диагностики с высоким пространственным разрешением на основе эффективных и хорошо известных в радиофизике подходов – методов синтезированной апертуры, фазовых измерений, корреляционной обработки слабых сигналов. В различных схемах постановки натуральных экспериментов продемонстрированы возможности существенного повышения помехоустойчивости и разрешающей способности сейсмоакустической диагностики с использованием импульсных последовательностей когерентных сигналов с большой базой (совместно с В.С. Авербахом, А.В. Лебедевым, А.П. Марышевым, Ю.К. Постоенко и др.). Полученные результаты, в том числе самых последних лет, показали возможность построения перспективных систем такой диагно-

Член-корреспондент РАН А.М. Сергеев:

В ученой среде есть собственное представление о красоте, что-то вроде научной эстетики. Если бы составлялся топ-рейтинг самых красивых теорем в современной физике, я отдал бы свой голос за теорему Таланова для самофокусировки. Она вообще отражает основные черты его научного творчества – строгость и глубину. Владимир Ильич обладает даром какого-то особо глубокого восприятия и понимания научной задачи, четкого разложения по базису собственных представлений и способностью задавать такие вопросы, которые заставляют любую аудиторию замолчать и внимательно следить за ходом научной дискуссии.

Доктор физико-математических наук С.Н. Власов, ученик В.И. Таланова:

Владимир Ильич в кругу своих ближайших сотрудников и учеников зовется Учителем, и совсем не только в узком смысле (человек, знающий как поставить и затем решить задачу), но гораздо шире – по отношению к науке вообще и к жизни. Например, среди его «постулатов» есть такие, которые касаются публикаций: публикация возможна после достижения полной ясности в проблеме; если работа не цитируется, значит, она неправильна; если задача оказалась уже решенной другими, пусть даже за рубежом, ищи себе другую... В итоге, если посмотреть, у него не так уж и много статей для ученого его академического звания и известности, скорее, даже мало (где-то около 150). Но зато – какие это работы!

стики, особенно в интересах инженерной сейсморазведки на относительно малых глубинах (где не требуются мощные источники).

Коллектив школы В.И. Таланова уже достаточно давно и прочно занимает свои позиции по ряду направлений в физике волновых процессов, к которым относятся:

– **нелинейная динамика волновых полей в неоднородных диспергирующих средах:** асимптотические методы описания взаимодействия и самовоздействия локализованных волновых структур, развитие теории распространения широкоугольных волновых пучков и широкополосных волновых пакетов в средах с различными дисперсионными свойствами;

– **нелинейные динамические процессы в гидрофизике:** развитие теории, численных моделей и масштабное лабораторное моделирование эволюции и взаимодействия поверхностных и внутренних волн, течений и турбулентности в верхнем слое океана, исследование динамики когерентных вихревых структур в однородной и стратифицированной жидкостях; прямые натурные измерения и дистанционная диагностика характеристик ветрового волнения и приводного ветра по радиолокационному и оптическому изображениям морской поверхности;

– **экстремальные волновые явления:** построение прогностических моделей катастрофических волновых явлений в прибрежной зоне и открытом океане; исследование динамики волн большой амплитуды в геофизических средах; стохастическое моделирование морских волн; эффекты распространения интенсивных световых пучков в нелинейных волноводах;

– **дистанционная оптическая диагностика сильно рассеивающих сред:** исследование статистических эффектов переноса оптического излучения в морской воде и биологических тканях; разработка методов коррекции изображений подводных объектов при наблюдении через взволнованную поверхность; развитие теории и новых схем когерентной оптической томографии в интересах диагностики биологических тканей;



В.И. Таланов, С.Д. Богатырев и В.И. Казаков обсуждают результаты работ на модели термостратифицированного бассейна (ИПФ РАН, 1984)

– **формирование полей в нерегулярных природных волноводах:** развитие теории излучающих и приемных антенн в случайно-неоднородных океанических волноводах; анализ и численное моделирование методов управления полями в подводных звуковых каналах; разработка и натурные исследования методов когерентной сейсмоакустической диагностики высокого разрешения.

Принципиальным моментом для школы, с первых лет ее становления, является взаимодействие с *alma mater* – радиофизическим факультетом ННГУ. Наиболее тесные связи школа имеет, очевидно, с кафедрой электродинамики, которую профессор В.И. Таланов возглавлял около 30 лет, именно эту кафедру окончили в свое время многие из «школьников». Заведая кафедрой, Владимир Ильич читал своим студентам оригинальный курс по асимптотическим методам теории волн (фактически по квазиоптике), так что большинство «школьников» получили свои знания по квазиоптике непосредственно из «первых рук». Этот курс был настолько оригинальным, что даже некоторые свои статьи В.И. Таланов «придумал» в ходе подготовки лекций и обсуждения их материала со студентами. По ряду направлений исследований школа активно взаимодействует и с кафедрами акустики, статистической радиофизики. Сегодня в составе школы целая команда профессоров и доцентов, преподающих на радиофизическом факультете и ВШОПФ ННГУ. В результате практически ежегодно в составе школы появляются молодые ученые, состав «школьников» пополняется студентами и аспирантами.

На протяжении нескольких конкурсных циклов, начиная с первых лет существования известной президентской программы поддержки ведущих научных школ страны, школа академика В.И. Таланова по квазиоптике получала государственную поддержку как ведущая научная школа в области физики. В последние несколько лет значительную роль в поддержке коллектива и получении им новых результатов сыграло успешное участие в конкурсных программах Минобрнауки, прежде всего в федеральной целевой программе «Кадры». Основным проектом школы в эти годы стало создание в ИПФ РАН Научно-образовательного центра «Радиофизические методы диагностики природных сред: фундаментальные основы, моделирование, натурные эксперименты», который объединил исследования и подготовку молодых научных кадров (см. материал «Девятый вал» на страницах научно-популярного портала «Наука и технологии России – STRF.RU»).

Школа академика В.И. Таланова объединяет сегодня большой коллектив – более 40 сотрудников ИПФ РАН и ННГУ, среди которых десяток докторов наук, около двадцати молодых ученых и аспирантов. Нет смысла говорить о десятках публикаций в профильных журналах и докладов на конференциях, которые появляются ежегодно по итогам работы школы – это рутинный показатель эффективности. Авторитет школы подтверждается скорее ее признанием в научном обществе. В составе школы – лауреат Ленинской премии (В.И. Таланов, 1991), лауреаты государственных премий СССР и РФ (С.Н. Власов, 1983, и Л.С. Долин, 1999), лауреаты премии РАН им. Д.С. Рождественского (Л.С. Долин и А.Г. Лучинин, 2010), обладатели медалей с премиями для молодых ученых (В.В. Баханов, 1987; В.Ю. Караев, 2000; А.В. Слюняев, 2006; Д.А. Сергеев, 2009), стипендиаты различных фондов поддержки ученых.

Итак, современная квазиоптика – обширная область физики волновых процессов, включающая исследования как линейных, так и существенно нелинейных волновых процессов в различных средах и системах, причем область, не ограниченная именно оптикой как таковой – речь идет о коротковолновых процессах в широком смысле. Значительный прогресс последнего полувека в этой области был во многом обусловлен разработкой эффективного теоретического аппарата асимптотических методов и важными прикладными исследованиями, выполненными коллективом научной школы В.И. Таланова. Устойчивое развитие школы, основанное на заложенных при ее формировании традициях продвижения в новые области исследований, высоком уровне требовательности к получению результата – теоретического и экспериментального, на поиске связей с практическими приложениями – в этом и заключается, по-видимому, главный задел школы на будущее.

А.И. Малеханов, к. ф.-м. н.,
в.н.с. ИПФ РАН, ученик В.И. Таланова

Из трех представленных здесь конференций международный симпозиум «Нанозифика и нанозлектроника» и Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн стали уже традиционными и имеют сложившуюся аудиторию участников, а вот представительная конференция по проблемам Чебоксарского водохранилища прошла под эгидой ННЦ РАН впервые. Особую актуальность этой конференции придает активно обсуждаемый проект дальнейшего заполнения водохранилища, за рамками которого, как показала прошедшая конференция, остались не решенные до настоящего времени многочисленные научные проблемы.

Проблемы Чебоксарского водохранилища

Межрегиональная научная конференция «Проблемы Чебоксарского водохранилища» прошла 4–5 апреля 2013 года в Научно-образовательном центре ИПФ РАН. Конференция была посвящена текущему состоянию водохранилища и проблемам, которые связаны с планируемым дальнейшим поднятием его уровня до отметки 68 метров.

Конференция проводилась по инициативе Нижегородского научного центра РАН и Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского в соответствии с рекомендациями Общественной палаты Российской Федерации по итогам проведенных 26 сентября 2012 года общественных слушаний на тему: «Экологические аспекты проекта повышения уровня Чебоксарского водохранилища». Конференция состоялась при активном участии и финансовой поддержке Нижегородской региональной организации Профсоюза работников РАН. Содействие в ее проведении оказали Правительство Нижегородской области и Общественный совет при департаменте Росприроднадзора по Приволжскому федеральному округу.

В работе конференции приняли участие более 100 специалистов (среди которых 3 академика, 2 члена-корреспондента РАН, 18 докторов наук, 17 кандидатов наук) широкого круга научно-исследовательских организаций из различных регионов России, включая сотрудников

институты Российской академии наук: Институт водных проблем РАН (Москва), Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (Москва), Институт водных проблем Севера Кольского центра РАН (Петрозаводск), Институт озераведения РАН (Санкт-Петербург), Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН (п. Борок Ярославской области), Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород), Институт географии РАН (Москва), Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (Москва);

учреждений Росгидромета: Государственный океанографический институт (Москва), Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу (Нижний Новгород);

отраслевых институтов и высших учебных заведений России: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижегородский государственный педагогический университет им. К. Минина, Научно-исследовательский радиофизический институт (Нижний Новгород), Поволжский государственный технологический университет (Йошкар-Ола), Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики РФЯЦ (г. Саров Нижегородской области), Волжская государственная академия водного транспорта, Пермский государственный университет, Тверской государственный университет;

представителей органов государственной власти Нижегородской области, республик Чувашия и Марий Эл, природоохранных и экологических организаций, представителей общественности.

Открыл работу конференции председатель Нижегородского научного центра РАН, директор Института прикладной физики РАН академик А.Г. Литвак. Давая краткий обзор проблеме, которая более 20 лет волнует жителей многих регионов Поволжья, А.Г. Литвак отметил:

«Научная конференция не может и не должна решать вопросы целесообразности строительства, ее задача выявить и обсудить ряд наиболее существенных проблем, которые должны составить научное обоснование для принятия государственного решения, особое внимание уделить проблемам, которые еще не исследованы совсем или исследованы недостаточно. Это не ис-

ключает того, что любой из участников конференции может иметь вполне определенное мнение о целесообразности реконструкции Чебоксарского гидроузла и выступить с этим публично».

Поздравить участников с началом работы конференции приехал председатель Законодательного собрания Нижегородской области Е.В. Лебедев. Он напомнил, что еще в 1989–1992 годах вопрос по Чебоксарскому гидроузлу был закрыт Правительством СССР, а дальнейшее поднятие уровня водохранилища было признано неэффективным.

«Несмотря на то что подъем Чебоксарского водохранилища пойдет во вред не только Нижегородской области, – сказал Е.В. Лебедев, – но и тем субъектам федерации, которые попадают в зону затопления, бизнес на протяжении 20 лет настойчиво пытается решить свои конъюнктурные задачи. И в связи с этим мнение ученых по этой проблеме является очень важным для правительства области».

Заместитель губернатора Нижегородской области С.Ю. Ковезин отметил, что правительство области предпринимает конкретные шаги

в пользу того, чтобы решение по подъему Чебоксарского водохранилища было взвешенным по всем вопросам. В частности, он сказал: «В 2012 году на территории Нижегородской области было проведено 16 общественных слушаний по проекту дальнейшего повышения уровня Чебоксарского водохранилища. Все они прошли с резко негативной оценкой сложившейся ситуации. Было высказано много замечаний как по самому проекту, так и по работе над ним. Например, предлагаемым проектом не учитывается ущерб, который будет нанесен окружающей среде, а по оценкам экспертов только в Нижегородской области он составит 1,7 трлн. рублей».

Обращение к участникам конференции депутата Государственного собрания Республики Марий Эл И.Н. Российского отличалось тем, что в большей степени затрагивало проблемы простых людей. Населению республики снова угрожает затопление, хотя не забыты еще переселения, а фактически выселения с нажитых веками мест в связи с пуском первой очереди Чебоксарского гидроузла. В качестве примера И.Н. Российский рассказал такую историю: «Напротив нашего города Козьмодемьянска когда-то было село Коротня. Люди до последнего не хотели уезжать, а это более 600 дворов. Но так как село все же попало в зону затопления, то все были вынуждены уехать, бросив нажитое. Так вот, несколько лет назад был организован сход, на который со всей России приезжали жители того затопленного села, а это более 300 человек, и привозили они с собой детей, чтобы показать им их малую родину. Теперь люди снова задают вопрос: «Мы снова теряем родину?» Депутат выразил надежду на то, что исследования ученых помогут поставить точку в этом затянувшимся конфликте.

От имени правительства Чувашской Республики перед учены-



ми выступил заместитель министра природных ресурсов и экологии **В.Н. Юшин**. Он выразил положительное отношение к проекту ОАО «Русгидро» и, аргументируя свою позицию в пользу подъема воды до 68-й отметки, сказал, что недостроенное водохранилище мало и поэтому не отвечает санитарным нормам для использования его в качестве зоны отдыха для жителей. Более того, оно является отстойником для сбора стоков, идущих не только с верховьев Волги, но и от Чебоксарского химического комбината.



На конференции было заслушано и обсуждено более 20 докладов. Основное внимание было уделено проблемам, связанным с гидрологией и экологией водохранилищ, в первую очередь Чебоксарского водохранилища, а также с возможными последствиями завершения строительства Чебоксарского гидроузла и повышением уровня водохранилища.

Открыл дискуссию зам. директора Института водных проблем РАН д.т.н. М.В. Болгов, ознакомивший участников конференции с историей вопроса и основными выводами экспертной комиссии РАН, проводившей экспертизу проекта достройки Чебоксарского водохранилища в 2008 году. Он подчеркнул, что хотя комиссия признала вариант подъема до отметки 68 м предпочтительным, она указала на необходимость доработки проекта по ряду позиций, важнейшими из которых являются обеспечение нормативного качества воды в водоеме, предотвращение развития опасных процессов, связанных с вредным воздействием вод, а также обоснование сметной стоимости сооружений и мероприятий. Учет сформулированных требований и замечаний является необходимым условием продолжения проектных и строительных работ.

Основные нерешенные проблемы проекта поднятия уровня Чебоксарского водохранилища детально были освещены в докладе ректора ННГАСУ проф. Е.В. Копосова. Особое внимание он уделил влиянию подтопления на геоэкологические процессы в заречной части городов Нижнего Новгорода и Дзержинска, в том числе на объектах транспорта и инженерной инфраструктуры. Вывод Е.В. Копосова прозвучал однозначно: подъем уровня водохранилища до отметки 68 метров может привести к активизации опасных геологических и геоэкологических процессов на территории Нижегородской агломерации, что ставит под угрозу безопасность водоснабжения 1,5 млн. человек из речных водозаборов и подземных источников, а также безопасность крупных строительных объектов стратегического назначения.

Вопросам качества воды Чебоксарского водохранилища был посвящен доклад Н.В. Андрияновой, И.М. Шаховой (Центр по мониторингу загрязнения окружающей среды ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС») и В.В. Соколова (Департамент Росгидромета по ПФО). Оценивая в целом экологическое состояние водохранилища в 2012 году как «удовлетворительное», специалисты Росгидромета отметили необходимость значительного повышения эффективности работ по оценке состояния водохранилища с использованием дистанционного зондирования, контактных методов измерений и современных методов обработки информации. Развитию современных методов дистанционной диагностики зон эвтрофирования водоемов был посвящен доклад сотрудников ИПФ РАН во главе с д.ф.-м.н. С.А. Ермаковым.

Широкий круг проблем, связанных с гидрологией и экологией водохранилищ, был затронут в докладах ведущих российских специалистов директора Института водных проблем Севера Кольского научного центра РАН чл.-корр. РАН Н.Н. Филатова и зам. директора Института озероведения РАН д.г.н. Ш.Р. Позднякова. Особое внимание было уделено развитию современных систем геоэкологического мониторинга и современных гидрологических моделей.

В докладе доц. ГАВТ Ю.Е. Ворониной обсуждались альтернативные решения организации судоходства на проблемном участке реки Волги Городец – Нижний Новгород.

Большой интерес вызвал доклад к.ф.-м.н. А.В. Иванова (ННГАСУ) «Интеграция геофизических, экологических и социально-экономических моделей для оценки последствий реализации проектов на примере подъема уровня Чебоксарского водохранилища» по результатам работ, выполненных совместно с сотрудниками ИПФ РАН под руководством д.ф.-м.н. Ю.И. Троицкой.

Достаточно полно были отражены вопросы экологического состояния зоны влияния Чебоксарского водохранилища с НПУ 68 м в пределах Нижегородской области, в том числе с помощью маршрутных наблюдений (доклады проф. НГПУ д.б.н. А.И. Дмитриева, проф. ННГУ д.б.н. А.Г. Охапкина). Оценке ущерба растительному и животному миру был посвящен доклад проф. ННГУ д.б.н. Д.Б. Гелашвили).

В большинстве докладов, представленных на конференции, было подчеркнуто, что **выводы о предпочтительности эксплуатации Чебоксарского водохранилища на отметке НПУ 68 метров не имеют достаточного обоснования**. По сравнению с объектами-аналогами (Верхне-Свирское водохранилище, Горьковское и другие верхневолжские водохранилища) уровень и глубина научных исследований, проведенных по Чебоксарскому водохранилищу, представляются недостаточными.

В связи с важностью темы и большим вниманием общественности и СМИ к обсуждаемым проблемам на конференции состоялось обсуждение всех аспектов данной проблемы в рамках круглого стола, который провели сопредседатели программного комитета конференции член-корреспондент РАН Е.А. Мареев (ИПФ РАН) и профессор Д.Б. Гелашвили (ННГУ) при участии академика Г.С. Голицына (ИФА РАН). Работа конференции завершилась обсуждением и принятием проекта решения.

Из Решения конференции

Анализ российской и мировой практики эксплуатации равнинных водохранилищ приводит к заключению о том, что **строительство и эксплуатация водохранилищ, в частности связанных с ГЭС Волжско-Камского каскада, явились источником масштабных экологических проблем чрезвычайной сложности**. Водоохранилища значительно меняют направленность геоэкологических, экологических и геологических процессов, резко активизируя их негативное воздействие на окружающую природную среду. Учет этих обстоятельств представляется особенно важным при анализе последствий возможного завершения строительства Чебоксарского гидроузла, расположенного в густонаселенном промышленно развитом центре европейской территории России, по варианту, предусматривающему повышение уровня этого водохранилища и, соответственно, уничтожение последнего проточного участка Средней Волги.

Среди гидрогеологических и экологических последствий возможного повышения уровня Чебоксарского водохранилища можно считать обоснованными следующие:

исчезновение проточного участка водохранилища, существующего при НПУ 63,0 м, что приведет к существенному замедлению течения и, соответственно, к снижению способности водоема к самоочищению. Наиболее сильно проявятся эти негативные последствия в речной части водохранилища в районе г. Нижний Новгород;

даже если будут выполнены все предусмотренные проектом работы по строительству всех берегозащитных сооружений и подготовке зоны водохранилища, подъем его уровня приведет к усилению эвтрофирования и вторичному загрязнению, что **ставит под угрозу безопасность водоснабжения около 2 млн. человек**;

в зоне влияния водохранилища на огромной территории следует ожидать интенсивной смены устойчивых биогеоценозов, деградации лесов, лугов, пойменных и иных веками сложившихся уникальных и эталонных экосистем с исчезновением присущего им животного и растительного мира; развития на их месте искусственно созданных (техногенных) полуболот с неустойчивыми экосистемами, непригодными ни для поддержания экологического равновесия, ни для хозяйственного использования; негативных изменений на ряде ключевых рыбохозяйственных участков: Окский речной плес, Верхний речной плес, Средний речной плес, Васильсурское расширение;

предполагаемый подъем уровня Чебоксарского водохранилища неминуемо приведет к активизации опасных (экзогенных) геологических и геоэкологических процессов на территории Нижегородской агломерации, что повысит риск разрушения от подтопления и карстовых провалов крупных объектов стратегического назначения, жилых зданий, инженерных коммуникаций.

Конференция отмечает недостаточный уровень проработки и понимания ряда важнейших проблем:

- влияние подъема уровня и подтопления на активизацию опасных геологических и геоэкологических процессов в заречной части городов Нижнего Новгорода и Дзержинска;



- влияние температурной стратификации на процессы эвтрофикации, перемешивания и возникновения противотечений с соответствующими изменениями качества воды в водохранилище;

- прогноз экологических последствий изменения экосистемы Чебоксарского водохранилища и связанный с этим прогноз качества воды, основанный на подробных мониторинговых наблюдениях за экологической ситуацией на всех участках водохранилища; анализ изменения экосистемы водохранилища с учетом сценариев развития экономики, уровня антропогенной нагрузки и общих климатических изменений с использованием современных математических моделей;

- корректный сопоставительный анализ вариантов обеспечения судоходства на участке Нижний Новгород – Городец: предлагаемого (при подъеме уровня Чебоксарского водохранилища до отметки 68 метров) и альтернативных вариантов завершения строительства Чебоксарского гидроузла (подъем уровня воды на коротком (40 км) участке нижнего бьефа Горьковской ГЭС низконапорной плотиной, строительство третьей нитки Городецких шлюзов, дноуглубление, строительство водостеснительных сооружений и др.);

- прогнозирование и учет социально-экономических аспектов, включая социальные последствия переселения и вынужденной миграции населения.

Фундаментальной системной проблемой следует признать существующий подход к оценке и экспертизе крупномасштабных инфраструктурных проектов (типичным примером которого является проект завершения строительства Чебоксарского гидроузла), не обеспечивающий комплексный научный и социально-экономический анализ последствий и учет интересов всех заинтересованных сторон, включая министерства и ведомства, региональные органы власти, общественные институты, население региона.

На данный момент отсутствует реальное экономическое обоснование проекта завершения строительства Чебоксарской ГЭС по варианту, предусматривающему повышение его уровня. Экономический эффект увеличения годовой выработки электроэнергии величиной 1,43 млрд. кВт·ч представляется ничтожным на фоне огромного экологического ущерба и отсутствия адекватного экономического анализа и решения проблемы обеспечения судоходства. **Таким образом реализация проекта представляется нецелесообразной.**

Любой вариант поднятия уровня Чебоксарского водохранилища приведет к существенным негативным изменениям гидрогеологической ситуации, повышению уровня грунтовых вод и может вызвать непредсказуемые последствия из-за вымывания токсичных веществ из загрязненных промзон Нижегородской агломерации, среди которых особую тревогу вызывает промзона г. Дзержинска. Проблемы вымывания токсичных веществ из загрязненных промзон и риска нарушения водоснабжения территории с двухмиллионным населением имеют столь серьезный характер, что без их всестороннего анализа само рассмотрение проекта представляется невозможным.

В существующем проекте фактически не проработаны вопросы обеспечения судоходства на участке Нижний Новгород – Городец при возможном подъеме уровня Чебоксарского водохранилища до отметки 68 метров, для которых существуют различные альтернативные варианты решения.

Необходимо существенное расширение сети наблюдательных пунктов и обсерваторий, ведущих *постоянный* мониторинг состояния

Чебоксарского водохранилища, в том числе наблюдения за изменениями гидробиологических и токсикологических показателей, а также взвешенных наносов и донных отложений. Особое внимание следует уделить развитию дистанционных (в том числе, космических, судовых и авиационных) средств мониторинга водохранилищ.

Приоритетным научным направлением следует считать изучение динамики равнинных водохранилищ в контексте антропологического воздействия на окружающую среду, в том числе на изменение климата. Следует сформулировать комплексный план изучения динамики равнинных водохранилищ (с учетом распоряжения Правительства РФ от 25 апреля 2011 г. № 730-р «Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации на период до 2020 года»).

Успешному решению задач в рамках указанных направлений способствовали бы создание соответствующего методического центра, аппаратно-методическое обеспечение сетевых наблюдений, развитие геоинформационных систем.

Конференция считает целесообразным:

1. Обратить внимание научных отделений РАН, формирующих планы научных исследований, на необходимость разработки тем, связанных с исследованиями гидрологии и экологии равнинных водохранилищ, а также с методами оценки риска их эксплуатации.

2. Обратиться в Минприроды России с предложением при участии РАН и других заинтересованных ведомств организовать государственную ЦЭП, посвященную всесторонней разработке и решению проблем эксплуатации равнинных водохранилищ, уделив в ее рамках особое внимание разработке и развитию систем мониторинга геоэкологического состояния Чебоксарского водохранилища.

3. В соответствии с Концепцией перехода РФ к устойчивому развитию (см. Указ Президента РФ №440 от 01.04.1996) организовать более тесное взаимодействие с соответствующими международными организациями (Комиссией по реализации Рамсарской конвенции, Международная программа Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone (LOICZ) и др.).

4. Рекомендовать Нижегородскому научному центру РАН создать экспертную рабочую группу для координации мер по реализации настоящего решения и просить войти в состав этой группы зам. директора ИВП РАН Болгова М.В., зав. кафедрой экологии ННГУ Гелашвили Д.Б., ректора ННГАСУ Колосова Е.В., зам.директора ИПФ РАН Мареева Е.А., зам. директора Института озераведения РАН Позднякова Ш.Р., руководителя Департамента Росгидромета по ПФО Соколова В.В., директора Института водных проблем севера КЦ РАН Филатова Н.Н.

5. Рекомендовать рабочей группе проработать вопрос о создании координационного центра (совета) по проблемам окружающей среды в бассейнах равнинных водохранилищ, вопросам изменения климата, геофизическим исследованиям с участием научно-исследовательских учреждений Российской академии наук, Росгидромета, Министерства образования и науки Российской Федерации.

6. Поручить рабочей группе опубликовать информацию об итогах конференции в средствах массовой информации и довести ее до сведения Правительства Нижегородской области, Правительства Республики Марий Эл, Кабинета Министров Чувашской Республики, заинтересованных министерств и ведомств.

По материалам конференции

Нанозифика и нанозлектроника. XVII международный симпозиум

11–15 марта 2013 года Институт физики микроструктур РАН провел ежегодный международный симпозиум «Нанозифика и нанозлектроника». Симпозиум традиционно проходил на базе санатория «Автомобилист» в начале весны, чтобы, по задумке организаторов, ученые могли совместить напряженную работу на симпозиуме с прогулками в еще зимнем лесу. Организаторами форума 2013 года выступили: ИФМ РАН, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Отделение физических наук РАН, Научный совет РАН по физике полупроводников, Научный совет РАН по физике конденсированных сред и Нижегородский фонд содействия образованию и исследованиям. Проведение форума было поддержано РАН, РФФИ, Фондом некоммерческих программ «Династия» и рядом крупных российских и зарубежных компаний, осуществляющих свою деятельность в области нанотехнологий.

Основными разделами программы симпозиума в последние годы остаются:

- полупроводниковые наноструктуры: электронные, оптические свойства, методы формирования;
- зондовая микроскопия: измерения и технологии атомарного и нанометрового масштаба;
- многослойная и кристаллическая рентгеновская оптика;
- сверхпроводящие наносистемы;
- магнитные наноструктуры.

По мнению директора ИФМ РАН профессора **З.Ф. Красильника**, сопредседателя симпозиума, сохранять данную тематику работы стало возможным благодаря тому, что «последние три года у симпозиума несколько изменился регламент. Параллельная работа трех секций позволяет приглашать для участия в работе более 330 участников, которые в этом году представили 390 докладов. Разумное увеличение числа участников привело к качественным изменениям уровня симпозиума в целом. По результатам работы симпозиума в последние три года многие участники высказывались в пользу того, что симпозиум становится одним из лучших научных форумов в своей области в России».

«Мы достаточно тщательно работали над программой симпозиума этого года, – продолжил комментировать работу XVII симпозиума З.Ф. Красильник. – Институту в этом году исполняется 20 лет и нам хотелось, чтобы этот симпозиум, первое из череды юбилейных мероприятий этого года, получился запоминающимся. Многие удалось, в первую очередь потому, что был подобран сильный состав приглашенных докладчиков. Было сделано 12 пленарных докладов. Для научных форумов такого уровня это большое число, и их не просто выдержать одинаково равными по всем основным тематикам симпозиума.



Особенно отрадно видеть, что происходит смена поколений «ключевых» докладчиков. На прошедшем симпозиуме очень сильно выступила целая плеяда молодых ученых из Института физики твердого тела РАН, Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, наконец, из нашего института.

Как всегда, география участников симпозиума охватывала большинство ведущих лабораторий, занимающихся фундаментальными исследованиями в области физики конденсированных сред в России. Широко были представлены наши соотечественники – ученые, работающие за рубежом. Много докладов было сделано по результатам совместных исследований российских и зарубежных групп».

Академик **С.В. Гапонов**, сопредседатель симпозиума, высказал свою точку зрения на работу прошедшего форума. В частности, он сказал:

«После того как состоится мероприятие, я склонен анализировать, какие были ошибки, чтобы не допустить их повторения. Например, на секции физики полупроводников я обратил внимание на то, как делал доклад М.М. Глазов из Физтеха. На меня это произвело огромное впечатление. Вот так надо делать научные доклады! Причем я сейчас касаюсь технической стороны подачи доклада, хотя содержание тоже было интересным. Как, например, он подал «спиновые шумы» – от истории вопроса до его сути, причем на нескольких уровнях, чтобы было понятно как специалистам, так и неспециалистам, то есть он очень трезво оценил аудиторию и сделал доклад с блеском. Наши доклады – именно из-за того, что докладчики не отнеслись должным образом к подаче материала, не то чтобы без «петербургского блеска», а наоборот, в таком амиошонском стиле, – выглядели бледнее, чем того заслуживали по содержанию. Мне даже хотелось бы пригласить Глазова, чтобы он дал нашим ученым мастер-класс на тему подачи научных материалов.

Что касается анализа работы симпозиума в целом, то можно сказать, что очень «подросли» относительно молодые лидеры научных направлений. И это либо те, кто уже является лидером того или иного научного направления в нашей стране, или входят в лучшую десятку представителей. Их смело можно рекомендовать в академию и на международные симпозиумы. Это очень важно для развития науки в рыночных отношениях, потому что при сильном лидере научное направление не скатится в мелкотемье, а грантовая система станет поддержкой разных частей одного большого целого. И это даже характеристика не столько симпозиума, сколько состояния российской науки в целом. Симпозиум в этом смысле выступил как зеркало, показав, что кризис старения науки давно пройден и наблюдается не просто ее омоложение, а это стало заметным явлением состояния науки. То же можно сказать и по нашему институту; на смену приходят сильные и заинтересованные в научном труде ребята. Сказалось и заметное техническое перевооружение науки в последние годы».

С момента проведения первого симпозиума в 1998 году, когда перед организаторами стояла задача объединения научного российского сообщества в области зондовой микроскопии, значительно расширилась тематика форума. Сегодня он имеет высокий статус одного из основных научных форумов страны в области нанозифики и нанозлектроники. Сухие данные статистики, которые оргкомитет опубликовал на сайте симпозиума (www.nanosymp.ru), убедительно подтверждают это. Нельзя не отметить и тот факт, что средний возраст участников конференции на протяжении нескольких лет не меняется и составляет 45 лет. Это значит, что состав участников постоянно пополняется молодыми учеными – теми, кто будет определять тематику и облик симпозиума в следующем десятилетии.



И. Тихонова

IX Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн

Пансионат «Дубки», ставший постоянным местом проведения всероссийских семинаров по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, в очередной раз принимал на своей территории участников этого единственного в стране научного форума по данной тематике. С 26 февраля по 1 марта 2013 года более 80 специалистов в этой области, представляющих институты РАН и университеты страны, отраслевые предприятия из Екатеринбурга, Москвы и Московской области, Нижнего Новгорода, Новосибирска, Санкт-Петербурга, Саратова, Томска, обменялись последними достижениями в этой области радиофизики. Программа включала в себя следующие основные направления:



источники и приемники излучения терагерцового диапазона; источники микроволнового излучения; приемники микроволнового излучения, спектроскопия и метрология; миллиметровое и субмиллиметровое излучение в прикладных исследованиях.

Подробнее о том, как проходила работа уже 9-го по счету семинара рассказал член его программного комитета В.Ф. Вдовин, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН и ФИАН им. П.Н. Лебедева, профессор, заместитель руководителя Лаборатории криогенной наноэлектроники НГТУ им. Р.Е. Алексеева, и. о. технического руководителя проекта «Миллиметрон»:

«Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, несмотря на то что завершены все те программы, которые способствовали его основанию (я имею в виду программы Минобрнауки и Президиума РАН), не теряет своей актуальности. Организаторами семинара в этом году выступили ИПФ РАН и ЗАО НПП «ГИКОМ», на них же и легла основная часть финансовой и организационной нагрузки. Отчасти перестроен и традиционный состав ключевых организаторов. Активная включенность в работу программного комитета, сотрудников ИПФ РАН Г.Г. Денисова, М.Ю. Глявина, Н.С. Гинзбурга, помимо сохранения постоянных участников семинара, помогла привлечь к его работе ряд новых организаций и исследователей, активно работающих в области микроволн. Следует отметить хороший организационный уровень, который обеспечила ученый секретарь семинара О.С. Моченева с группой молодежи.



Безусловно, вырос презентационный уровень семинара. В этом году особенно заметным стало то, что почти половина презентаций к докладам выполнена на английском языке, общепринятом в международном научном сообществе, а один доклад был сделан русскоязычным иностранцем, А.М. Барышевым, который уже второй раз специально прилетает из Голландии для участия в нашем семинаре. А.М. Барышев является одним из лидеров Европейского микроволнового сообщества и ведет разработки микроволновых приемников нового поколения для наземных телескопов и космических миссий. Если говорить в целом о команде программного комитета под председательством профессора Е.В. Суворова, то весь ее состав работает на хорошем мировом уровне и в тесном сотрудничестве с ведущими мировыми научными центрами. Все это хорошие знаки того, что семинар дорос до международного статуса. Возможно, к следующему – десятому по счету – семинару мы сформулируем предложение о присвоении ему статуса международного симпозиума и таким образом отметим его юбилей.

Что касается комментария к работе секции «Источники и приемники излучения терагерцового диапазона», то в первую очередь нужно отметить, что она была представлена специалистами самого высокого уровня. Более того, значимую часть этой команды объединяет участие в проекте «Спектр М», результаты работы над которым они и привезли в Дубки. «Спектр-М» – это проект создания космической обсерватории миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн, названной «Миллиметрон». Тема российской космической обсерватории «Миллиметрон» и программа, которую готовят Российское космическое агентство и Астрокосмический центр ФИАН, были представлены серией добротных докладов в Дубках. По сути, на секции был проведен отдельный семинар по этому проекту, и его участники сверх программы провели даже совещание с анализом хода работ над техническим проектом обсерватории, при этом пригласили к участию в обсуждении и группу М.Ю. Третьякова из ИПФ РАН. Кстати, нужно отметить, что ярчайшим докладом на конференции, к тому же изложенным в драматическом и почти детективном стиле, стал именно доклад группы, возглавляемой М.Ю. Третьяковым, названный «Атмосферный континуум на миллиметровых волнах и димеры воды». Доклад представлял интереснейший новый научный результат, связанный с экспериментальным обнаружением линий, довольно достоверно идентифицируемых как линии димера воды. Этот результат, бесспорно, будет включен в спецвыпуск журнала «Радиофизика», он достоин и самых высокорейтинговых журналов, уже публиковавших ранее статьи об обнаружении димеров воды, однако оказавшиеся ошибочными.

Важной особенностью семинара стало участие в нем, кроме учреждений фундаментальной академической и вузовской науки, группы научно-производственных структур, среди которых, помимо ЗАО «ГИКОМ», были представлены подмосковные фирмы «Исток» и СКБ ИРЭ РАН. Приборы, созданные в СКБ ИРЭ, уже работают в космической обсерватории «Радиоастрон», успешно запущенной чуть более года назад и ставшей почти единственным успехом российской космической отрасли последних двух лет.

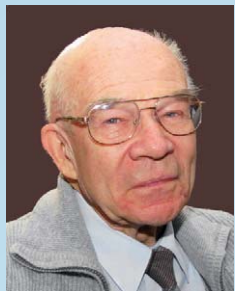
Целую серию замечательных докладов представили разработчики инструментов и исследовательских стендов, созданных на основе лампы обратной волны (ЛОВ), которую более 50 лет назад впервые изготовили на производстве «Исток» во Фрязино. Аналогов этой лампе в мире до сих пор нет, и она по-прежнему позволяет получать результаты мирового уровня. Поскольку задачи, которые предстоит решить по оснащению обсерватории «Миллиметрон», новые, крайне интересные и сложные, то альянс академической, вузовской и отраслевой науки, которая уже имеет производственные мощности для создания такой уникальной аппаратуры, крайне важен. Семинар в данном случае стал той рабочей площадкой, на которой оказалось возможным обсудить многие вопросы.

Миллиметровый и субмиллиметровый диапазон – область наших исследовательских интересов – не один десяток лет сулит новую эру и в создании аппаратуры связи. Мы помним первые мобильные телефоны огромного размера с трубками и аккумулятором, который нужно было носить в отдельной сумке. Прорывы в технологиях аккумуляторов, конструкционных материалов и устройств дециметрового диапазона, достигнутые за счет закачивания колоссальных ресурсов телекоммуникационных гигантов в совершенствование техники мобильной связи, за два десятилетия сделали мобильные устройства маленькими и удобными. Начавшееся продвижение мобильной связи в сантиметровый диапазон сегодня на порядок расширяет возможности таких устройств. Терагерцовый же диапазон еще на два порядка повышает емкость канала передачи информации. Есть уверенность, что именно телекоммуникации внесут решающий вклад в реальное промышленное освоение терагерцового диапазона. Хотя нельзя сбрасывать со счетов и заметный ресурс спектроскопических и имиджинговых приложений устройств этого диапазона, которым также были посвящены ряд докладов на семинаре.

Еще одной интересной особенностью прошедшего семинара стало представление докладов от коллективов исполнителей мегагрантов, работающих в близкой к тематике семинара сфере. Были представлены работы по трем мегагрантам, возглавляемым профессором Л.С. Кузьминым (проект НГТУ), профессором М. Туммом (проект выполняется в Новосибирске) и академиком О.В. Руденко (проект ННГУ). Из докладов видно, что заметные финансовые ресурсы, вложенные государством в мегагранты, начинают давать научную отдачу, но, как и предполагали скептики, не очень скоро и не так пол-

но, как ожидало Минобрнауки. Эти доклады вызвали большой интерес и внесли свежую струю в устоявшееся микроволновое сообщество, которое благожелательно приняло в свой круг новые темы и новые лица».

О достижениях в своих научных направлениях, представленных на семинаре, рассказали некоторые его участники из ИПФ РАН.



Л.И. Федосеев,
кандидат физ.-мат. наук,
ведущий научный сотрудник
отдела физики атмосферы
и микроволновой диагностики,
лауреат Государственной премии СССР:

«Поскольку я участвовал во всех всероссийских семинарах по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн (сначала они назывались «семинары по физике микроволн») и даже входил в число организаторов первых семинаров, то могу сравнить, как это было в начале и как это происходит сейчас. Тематика первых семинаров, на мой взгляд, выглядела чуть разнообразнее. Тогда больше было поисковых работ, часть которых так и не получила продолжения, но некоторая часть все же успешно завершилась созданием уникальных образцов приборов в области электроники, спектроскопии, дистанционного зондирования окружающей среды и т. д. На этом семинаре выделяется результат по разработке импульсного терагерцового гиротрона с рекордными значениями мощности и эффективности (авторы доклада Г.Г. Денисов и др., ИПФ РАН).

На меня, начавшего свою деятельность в 1959 году в НИРФИ с разработки детекторных радиометров в рамках НИР «Исследование электромагнитных волн в переходном диапазоне между инфракрасными лучами и волнами миллиметрового диапазона», которой руководила М.Т. Грехова, очень сильно впечатление произвели последние достижения в разработке терагерцовых смесителей и детекторов на электронном разогреве в сверхпроводниковых пленках NbN (авторы Г.Н. Гольцман и др., МПГУ), а также разрабатываемый международным коллективом (Нидерланды, Москва, Нижний Новгород, Фрязино, Италия) многоволновый высокочувствительный приемный комплекс для космической обсерватории «Миллиметрон», перекрывающий широкий диапазон частот от 18 ГГц до ~6 ТГц.

Представленные в докладе М.Ю. Третьякова с соавторами (ИПФ РАН) свежие данные, полученные методом резонаторной спектроскопии на уникальной установке, наконец-то позволили разрешить существовавшую полвека проблему избыточного континуального поглощения водяным паром атмосферы.

Хотелось бы еще отметить, что некоторые разработки, о них говорилось еще на первых семинарах, успешно завершились в последнее время созданием комплекса автоматизированных приборов для непрерывного дистанционного зондирования окружающей среды: например, спектрорадиометр для измерения температурного профиля тропосферы и мониторинга состояния земных покровов (А.А. Швецов и др., ИПФ РАН, ННИПИ «Кварц»), микроволновый измеритель термической структуры стратосферы и области тропопаузы (А.А. Швецов и др., ИПФ РАН), мобильный микроволновый озонометр с автоматической внутренней калибровкой (А.А. Красильников и др., ИПФ РАН, ННИПИ «Кварц»). Применение в них полупроводниковых электрически управляемых модуляторов-калибраторов (Л.И. Федосеев, ИПФ РАН, НИИ ПП) позволяет проводить непрерывные наблюдения в течение нескольких месяцев без участия человека».



М.Ю. Третьяков,
кандидат физ.-мат. наук,
зав. отделом микроволновой
спектроскопии:

«Наш отдел является одной из лучших научных лабораторий в мире, занимающихся молекулярной газовой спектроскопией в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн. В настоящее время наши работы во многом определяют существующий мировой уровень в этой области физики.

Мы занимаемся изучением молекулярных откликов газов, в том числе и атмосферных, на разных частотах спектра электромагнитного излучения. Это немного похоже на то, как мы в старину ловили какую-либо волну в радиоприемнике: повернули ручку настройки – слышим сигнал, чуть-чуть сдвинули – сигнал пропал или, наоборот, вдруг возникает какофония звуков. Приблизительно также «звучат» молекулы в смеси газов: каждая на своих частотах, иногда «громко», иногда «тихо», иногда «хором». Чтобы распутать этот клубок и понять, какие сигналы относятся к одним молекулам, а какие к другим, и создать в итоге простую и понятную картину спектра атмосферных газов, мы используем резонаторный спектрометр, созданный усилиями многих сотрудников в мастерских и лабораториях ИПФ РАН. В 1999 году на основе многолетнего опыта, накопленного в нашем отделе и в отделе физики атмосферы и микроволновой диагностики, был создан прибор, превзошедший по чувствительности все известные мировые аналоги. В качестве источника излучения в нем используется лампа обратной волны, фаза излучения ее, даже при очень быстрой перестройке частоты, строго синхронизируется по сигналу квантового стандарта частоты и времени, а в качестве чувствительного элемента используется резонатор. Качество (добротность) резонатора определяется скоростью затухания в нем колебаний поля. При заполнении резонатора поглощающим газом его добротность меняется. Наш резонатор доведен практически до совершенства, что обеспечивает высокую чувствительность спектрометра. В институте эти работы начал еще Юрий Алексеевич Дрягин, который оставил в наследство своим ученикам и последователям прекрасный прибор.

Несколько лет назад, когда стало ясно, что для дальнейшего расширения круга задач, решаемых с помощью резонаторного спектрометра, его необходимо дополнить климатической термобарокамерой, к его развитию подключился еще один отдел ИПФ РАН – отдел миллиметровой радиоастрономии. Таким образом, в приборе оказались заинтересованными сотрудники сразу трех подразделений института, и с благословения директора наш резонаторный спектрометр приобрел, пока еще неформально, статус центра коллективного пользования.

С помощью спектрометра мы в течение 10 лет с высокой точностью исследуем «звучание» атмосферных молекул. Это позволило количественно исследовать проблему «избыточного» атмосферного поглощения (которое, как сначала казалось, существует независимо от обычных атмосферных молекул) и, более того, существенно продвинулось в понимании физических механизмов, вызывающих такое поглощение. Исследования этого явления проводились еще в начале прошлого века, гипотез выдвигалось много. В НИРФИ тоже занимались этой проблемой, в том числе и профессор С.А. Жевакин, хорошо известный старшему поколению сотрудников ИПФ РАН. Он тогда первым высказал гипотезу о том, что избыточное поглощение в атмосферном водяном паре происходит за счет димеров (двойных молекул) воды. Эта гипотеза имела большой резонанс. Даже лондонская «Times» тогда сообщила, что, по мнению русских, волны в микроволновом диапазоне могут поглощаться в атмосфере димерами воды. После этого спектроскописты всего мира почти 50 лет искали димеры – и в атмосфере, и в лаборатории, в близких к атмосферным условиям, но безуспешно. И вот совсем недавно с помощью нашего резонаторного спектрометра нам удалось «услышать» димер – наблюдать его спектр в водяном паре при комнатной температуре, который, как отпечатки пальцев, свидетельствует о присутствии в паре димеров. Это полностью подтвердило гипотезу Сергея Александровича.

Значение нашего результата прежде всего в том, что он позволит продвигаться дальше в понимании свойств воды, которая является источником жизни. Ведь свойства воды определяются той самой водородной связью, которая объединяет две молекулы H₂O в димер, т.е. димер – это простейший прототип воды. Не поняв полностью димер, человечество не поймет воду. А прикладное значение результата в том, что понимание механизмов поглощения излучения атмосферой позволит разрабатывать более точные климатические модели, включающие и предсказания погоды, и глобальные изменения климата.

Наши результаты опубликованы, они получили очень живой отклик и широкое признание мировой общественности. Об этих свежих результатах и был наш доклад на семинаре».



В.В. Паршин,
старший научный сотрудник
отдела физики атмосферы
и микроволновой диагностики:

«Наша традиционная тематика – развитие методов и средств прецизионной спектроскопии веществ на базе высокочастотных резонансных систем. Это означает, что чувствительным элементом аппаратуры (резонаторного спектрометра) является высокочастотный резонатор, в котором происходит

многократное взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. Многократность взаимодействия обеспечивает высокую чувствительность аппаратуры, а исследуемыми объектами могут быть диэлектрики (включая твердые вещества, жидкости, чистые газы или их смеси) или различного рода отражатели.

«Прорывным» моментом нашей деятельности стало удачное объединение высокочастотных резонаторов с прецизионными системами стабилизации частоты и регистрации сигнала и, конечно, наши методы исследований, что и позволило создать аппаратуру, для которой до сих пор аналогов в мире нет.

Уникальность спектрометра во многом обусловлена тем, что в качестве генератора излучения в нем используются ЛОВ. Такие лампы с их идеальными для спектроскопии свойствами были разработаны в Советском Союзе еще в 60-е годы прошлого столетия и выпускались в г. Фрязино (Московская область) объединением «Исток». Применение ЛОВ обеспечивает спектрометру возможность непрерывных по частоте исследований в уникально широком диапазоне – от 36 до 520 ГГц. Наш следующий этап – это продвижение в терагерцовый диапазон частот с сохранением всех основных параметров спектрометра.

Одной из наших важных задач является изучение распространения микроволнового излучения в атмосфере с целью создания высокоточных моделей поглощения, которые необходимы, например, для расчета дальности действия радиолокаторов, систем связи, дистанционного зондирования и т. д.

В области исследования диэлектрических свойств материалов у нас проводятся работы как по тестированию новых диэлектриков широкого применения, так и материалов с уникальными свойствами. В частности, делается экспертиза алмазных окон вывода энергии разрабатываемых в ИПФ РАН гиротронов мегаваттного уровня мощности, которые уже применяются и будут в перспективе использоваться на крупнейших установках управляемого термоядерного синтеза, например, по программе ITER.

В настоящее время мы ведем также активные исследования отражательных экранов и охлаждаемых антенн, которые предполагаются к применению на радиотелескопе космической обсерватории «Миллиметр» во всем интервале ее рабочих температур – от 4 К до 300 К.

На семинаре по всем этим направлениям исследований были представлены наши доклады».

С.П. Белов,
старший научный сотрудник
отдела микроволновой спектроскопии:



«На этой конференции мы представили первый в России широкодиапазонный спектрометр сверхвысокого разрешения, предназначенный для исследования спектров поглощения молекул в диапазоне частот от 70 до 1000 ГГц (1 ТГц). Уникальность нашего спектрометра в том, что он при комнатной температуре исследуемого газа позволяет

получать узкие нелинейные резонансы внутри доплеровского контура вращательных линий молекул и измерять их частоты в десятки раз точнее, чем ранее. Спектрометр работает на основе метода «провала Лэмба», реализованного нами без использования высокочастотного резонатора Фабри – Перо. В отсутствие резонатора, электрически перестраиваемые источники когерентного излучения (лампы обратной

волны) и приемник излучения на основе InSb-боллометра на горячих электронах обеспечивают широкодиапазонность спектрометра и его высокую чувствительность.

В мире до недавнего времени было всего два спектрометра, на которых можно было проводить подобные измерения. Теперь у нас есть свой прибор, и он заметно лучше по характеристикам. Недавно, например, нам удалось обнаружить ранее неизвестное расщепление линий в молекуле метанола. Надо сказать, что эта молекула широко представлена в космических облаках, и ее спектр в последние 50 лет изучался очень активно. Когда мы стали наблюдать спектр молекулы метанола с помощью нашего спектрометра с большим, чем ранее, частотным разрешением, то обнаружили, что часть спектральных линий распалась на дублеты. Предполагалось, что это проявление сверхтонкой структуры линий, которая обусловлена наличием спинов у ядер водорода. Позже оказалось, что возможно и другое объяснение дублетов, а именно, как расщепление линий вследствие инверсионного движения. Это весьма интересная и неожиданная гипотеза. Еще недавно никто даже подумать не мог, что в такой небольшой и достаточно хорошо изученной молекуле, как молекула метанола, возможно, существует еще неоткрытое туннельное движение, на признаки которого мы натолкнулись. Конечно, чтобы проверить эту гипотезу, нам надо провести дополнительные измерения, а также организовать взаимовыгодное сотрудничество с западными учеными, у которых накоплен богатый опыт квантово-механических расчетов внутримолекулярных движений, обусловленных квантовым эффектом туннелирования через потенциальный барьер. Тем не менее, уже сейчас очевидно, что наши результаты открывают новый этап в исследовании молекулы метанола.

Наши исследования мы проводим в основном для составления эталонных радиоастрономических таблиц. Ученую-астрофизику, наблюдающему образование новых звезд в космосе, необходимо иметь лабораторные частоты спектральных линий, с которыми нужно сравнить данные своих измерений, чтобы по эффекту Доплера определить скорость и направление движения молекул в различных частях газопылевого облака. Другой областью применения наших исследований является собственно молекулярная спектроскопия.

Очень порадовали успехи наших коллег из Московского педагогического университета, которые доложили о своих быстродействующих приемниках на основе болометров, у которых это быстродействие достигает 10^{-10} с. Аналогичный параметр болометра в нашей установке 10^{-6} с. Поэтому хочу подчеркнуть, что большим достоинством конференции является не только возможность услышать о достижениях, но и договориться о дальнейшем взаимовыгодном сотрудничестве».



Работа участников семинара традиционно сочеталась с оздоровительной программой. Мягкий морозец, располагающий к лыжным прогулкам в перерывах между заседаниями, и все услуги, предоставленные физкультурно-оздоровительным комплексом пансионата, только прибавляли участникам хорошего настроения и работоспособности.

И. Тихонова

Алмаз растет в непрерывном режиме

– Анатолий Леонтьевич, в начале беседы мы всегда просим рассказать немного о себе. Это стало традицией и, надеюсь, мы ее не будем нарушать?

– Не будем. Я вырос в рабочем поселке Большое Козино на окраине города Горького. Поселок расположен



на берегу Волги, жили в нем люди, в основном работавшие на заводах Сормова. Волга притягивала, и мы, школьниками, часто ходили на ночные рыбалки или просто купаться. Для нас переплыть реку туда и обратно было забавой. Интересных моментов, особенно летней жизни, вспоминается множество,

но вместе с тем мы знали, что «делу – время, а потехе – час». Я в семье был старшим братом, и поэтому обязанностей по дому хватало: у меня две младшие сестры, так вот для средней сестры долгое время мне пришлось быть нянькой. Она постоянно была со мной и, естественно, если доводилось поиграть в футбол, то ей приходилось терпеливо ждать. А уж когда подросла, то все обязанности по воспитанию младшей сестры я передал ей.

– Школьная жизнь вашего поколения пришлась на необычайный подъем интереса к науке вообще и к физике в частности. Как это было в вашей жизни, почему вы выбрали именно радифизику?

– Интерес этот возник еще в школе. Во-первых, наш преподаватель физики Василий Максимович Колемасов был выпускником радиофака Горьковского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Бесконечно увлеченный физикой и преданный радиофаку, он много интересного рассказывал нам о жизни факультета. А что подростку надо? Чтоб появился интерес и желание пойти учиться именно туда. И еще, немаловажно было то, что семья наша в поселке жила в учительском доме – мой отец был учителем. Дом был небольшой, на восемь семей, а учитель физики был нашим соседом. Во дворе стояла беседка, в ней взрослые собирались играть в шахматы, и я с детства пристрастился к этой игре. Став постарше, даже участвовал в «турнирах» наравне со взрослыми. Со мной считались и, конечно, такое неформальное общение с образованными людьми было хорошей дополнительной школой для меня.

А во-вторых, один мой приятель постарше поступил на радиофак университета. И он много рассказывал о том, какие новые предметы изучает, какие люди там преподают. Так, постепенно, радиофак вошел в мою жизнь. Я окончил школу с золотой медалью, и в том, где именно мне продолжать образование, я даже не сомневался. Учиться на радиофизическом факультете было достаточно трудно, но в то же время очень интересно. Сама атмосфера, в которой протекала наша жизнь, авторитет больших ученых, преподававших на факультете, и престиж научного труда – все это вело меня к занятиям наукой.

– Когда вы определились с научным направлением и кто в большей степени повлиял на это?

– Будучи студентом, я побывал на заседаниях диссертационного совета по защите кандидатских диссертаций Игоря Григорьевича Кондратьева и Владимира Борисовича Гильденбурга, выполненных под руководством Михаила Адольфовича Миллера, одного из самых авторитетных и уважаемых нижегородских (горьковских) радиофизиков. Надо еще сказать, что это были времена расцвета интереса к исследованиям в области физики плазмы и ее взаимодействия с излучением. Михаил Адольфович вел у нас спецкурс и, конечно, чрезвычайно увлеченный сам, вызывал интерес к этой проблематике и у нас.

Поэтому на курсовую работу я попросился к И.Г. Кондратьеву, она называлась «Дифракция электромагнитного излучения на плазменном цилиндре». В то же время я стремился попасть в НИРФИ в отдел М.А. Миллера на практику. И.Г. Кондратьев порекомендовал меня Борису Герасимовичу Еремину, работавшему в этом отделе. Так что дипломная работа уже была посвящена мультипакторному разряду и носила экспериментальный характер. Фактически из нас тогда была организована группа, в задачу которой входили исследования возможностей прикладного использования гиротрона. Меня, в частности, касались задачи изучения мультипакторного разряда около поверхности различных материалов. А после окончания радиофака в 1969 году меня приняли в отдел М.А. Миллера на работу.

И коль уж мы говорим о моих учителях, то в обсуждениях моих исследований, в результате которых я рос как ученый, принимали участие и М.А. Миллер, и А.Г. Литвак, и В.Б. Гильденбург. Этим людям я и считаю своими учителями. Даже своим возвращением в институт после службы в армии (1970–1972), куда меня призвали из НИРФИ, я обязан Михаилу Адольфовичу. Перед самым моим отъездом на службу он передал мне школьную тетрадь со сделанными в ней заметками и сказал: «Смотри, сколько здесь интересного. Так что ждем!». Это помогло поддерживать в себе интерес, потому что время от времени я все-таки заглядывал в эту тетрадь, любопытство и желание решить какую-то задачку из нее заставляло заниматься, а потом и продолжить научную работу. Немаловажную роль в том, что я вернулся после армии в НИРФИ, сыграл и большой престиж научного труда в обществе. Несмотря на то что жили мы все довольно трудно, денежные вопросы не были главными. Может быть, сегодня это пафосно звучит, но патристические вещи тогда были важнее; люди науки были востребованы, трудились по заданию Родины, и я был в их числе. Мы исследовали новый тип СВЧ-разряда в пучках электромагнитного излучения, генерируемого гиротроном, и создавали физические модели этого явления. По этой тематике в 1980 году я защитил кандидатскую диссертацию, а в 1992 году – докторскую.

– Ваши учителя давали какие-то рекомендации, ставили условия, то есть пытались как-то руководить?

– Меня не опекали и не навязывали готовых решений, но условия для самостоятельной работы создавали. Мне была предоставлена установка, а вся постановка эксперимента была под моей ответственностью. И какие бы задачи я себе ни ставил, всегда стремился получить результат. Мне было и тогда, и до сих пор интересно работать. Сегодня, оглядываясь назад, могу сказать, что и стиль руководства института был рассчитан на воспитание у молодежи научной самостоятельности.

– В 90-х годах «задания Родины» прекратились, и это как-то повлияло на вашу научную деятельность?

– К этому времени мы накопили уже достаточное количество фундаментальных знаний в области физики СВЧ-разряда и стали проявлять больший интерес к его практическому использованию. В частности, мое внимание привлекли исследования по выращиванию искусственных алмазных пленок в плазме СВЧ-разряда.

– Откуда вообще возникла идея выращивания алмазов с помощью СВЧ и почему именно она привлекла ваше внимание?

– Сама идея выращивания алмазов методом осаждения из газовой фазы, а также те условия, при которых это должно выполняться, были высказаны и реализованы в конце 1970-х годов советскими учеными из Института физической химии АН СССР (Б.В. Спицыным, Д.В. Федосеевым, Б.В. Дерягиным). В 1981 году на международной конференции Б.В. Спицын рассказал о результатах своих исследований, и в мире просто произошел взрыв интереса к этому методу. Позже для активации газовой смеси низкого давления японские ученые предложили использовать плазму СВЧ-разряда. В результате была создана технология получения алмазного материала в виде алмазных пленок на подложках большой площади.

Поскольку исследованиями СВЧ-разряда мы занимались уже не один год, у нас накопилось много идей, которые хотелось бы проверить применительно к технологии плазмохимического синтеза алмаза. Например, при исследовании импульсно-периодического разряда мы заметили, что в плазме нарабатывается большее количество активных частиц, радикалов, чем в непрерывном разряде, что могло увеличить скорость роста алмазных пленок. В то время у нас завязались интересные научные связи с зарубежными исследователями, в частности с сотрудниками Мичиганского университета (США), которые уже более 10 лет занимались этой тематикой. Мы поделились с ними своими наблюдениями, в результате чего было принято решение о проведении эксперимента на их установке, мы своей еще не имели. Написали совместный проект, который получил поддержку Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF).

Для нас эти эксперименты были важны не только с точки зрения практического освоения нового метода, но был и научный интерес – хотелось усовершенствовать процесс, добиться повышения скорости роста алмаза. В результате предложенного нами подхода удалось увеличить скорость роста алмазных пленок в 1,5 раза. Таким образом, с 1995 года мы вошли в новую для нас область – газозоно-го синтеза алмаза. Результат оказался полезен нам не только с точки зрения наработки международных научных связей, но еще он имел большое значение для ИПФ РАН – у института появилась возможность самостоятельно выращивать алмазные пластины для выходных окон мощных гиротронов, создаваемых непосредственно в институте.

К концу 1996 года мы создали свою первую установку, на которой проводили эксперименты по выращиванию поликристаллических алмазных пленок. Забегая вперед, скажу, что все установки, которые на сегодняшний день имеются в нашей лаборатории, кроме одной, мы сделали сами. И когда институт приступил к изготовлению гиротронов для термоядерных установок, выращивание собственных алмазных пластин стало необычайно актуальным. Оказалось, что обеспечить выход мощного СВЧ-излучения из прибора и не разрушиться при этом способно только алмазное окно. Окна эти закупались за огромные деньги в фирме «Element Six» – филиале всемирно известной компании «De Beers». В связи с этим руководство института приняло решение самим производить необходимые пластины. Наши исследования были поддержаны, и в 2003 году была куплена в Германии установка, на которой мы работаем до сих пор.

Вскоре мы научились выращивать алмазные пластины такого же качества, как «Element Six», но нас не устраивала скорость роста алмаза – 1 микрон в час. То есть на одно алмазное окно для гиротрона нужно было 1500 часов (2 месяца) работы установки (растет алмаз в непрерывном технологическом режиме). Тогда мы поставили себе задачу разработать технологию ускоренного роста алмаза. Задачу мы считали выполнимой, потому что еще задолго до этих занятий хорошо изучили природу плазмы СВЧ-разряда и были уверены, что ответ лежит в создании условий необходимого процесса с помощью изменения параметров плазмы. Увеличение скорости зависит от плотности плазмы, и мы сосредоточили свои усилия на создании широкоапертурной плазмы высокой плотности. Впервые в мире для получения такой плазмы в плазмохимическом реакторе вместо магнетрона мы решили использовать гиротрон миллиметрового излучения. Для этого нам потребовалось сделать новую лабораторную установку, в которой мы бы могли применить СВЧ-излучение на порядок большей частоты, что увеличивало плотность плазмы тоже на порядок. Такую

установку мы построили, провели эксперимент и получили скорость выращивания пластины в 5–7 раз больше, чем была на магнетронной установке. Понимая, что технология высокоскоростного выращивания алмазных пленок будет востребована, мы в 2007 году приступили к созданию промышленной технологической установки и к 2009 году создали и запатентовали ее во многих странах мира.

– Как «Element Six» отреагировала на вашу установку?

– Когда мы на одной из международных конференций доложили о том, что разработали методику высокоскоростного выращивания алмазных пластин, то представители фирмы заволновались, конечно. Они поинтересовались даже тем, сколько мы построили установок. Сегодня «Element Six» выращивает пластины разных размеров, но по-прежнему медленно.

– Ваши установки очень красивые, кто у вас выступает в роли дизайнера?

– Все оформление установок наше собственное. У нас хорошие конструкторы, и мы стараемся сделать установки привлекательными, потому что надеемся, что в будущем они будут использоваться не только в нашем институте. А вообще наш подход к конструированию установок очень простой. Мы не изобретаем велосипеда и те узлы, которые можем купить, покупаем, а те вещи, которые составляют наше know how, делаем сами. Некоторые установки можно увидеть только в ИПФ РАН. Например, гиротронную установку для высокоскоростного выращивания алмазных пластин, о которой было сказано выше. Установка оснащена гиротроном мощностью 15 кВт на частоте 28 ГГц, стойкой управления, современными контрольно-измерительными приборами, уникальной СВЧ-камерой для создания плазмы с высокой плотностью и выращивания алмазных пластин разных размеров. Установка максимально проста и в управлении. Роль оператора здесь заключается только в том, чтобы задать необходимые режимы и нажать кнопку «Пуск». Далее установка будет работать без необходимости дополнительного контроля со стороны человека в автономном режиме в течение необходимого времени, вплоть до месяца.

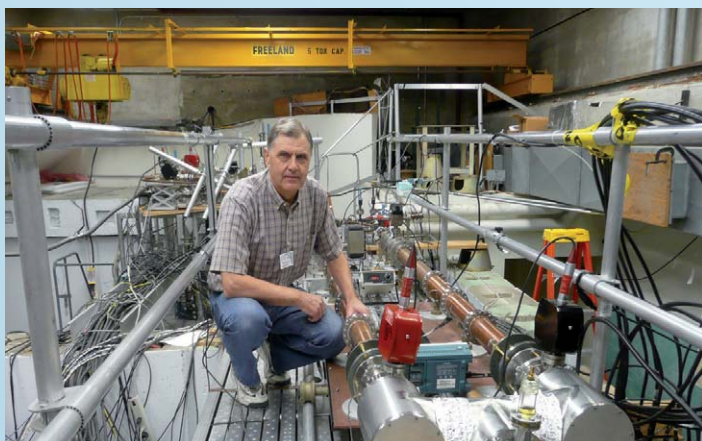
– Где еще, кроме окон гиротронов, применяются алмазные пленки?

– Самое очевидное применение, которое находит этот материал в настоящее время – это теплоотводы для традиционной полупроводниковой электроники, так как теплопроводность искусственного алмаза в пять раз выше, чем у меди, из которой обычно делают теплоотводы. Микроэлектроника сделает значительный шаг вперед, в функциональном плане, если в массовом порядке будут применяться алмазные пленки. Например, при высокой скорости теплоотвода возможно создавать СВЧ-транзисторы большей мощности и меньшего размера.

Поликристаллический алмаз нашел применение также и в оптике. По газозоно-го технологии выращиваются алмазные линзы и окна для лазеров ИК-диапазона со спектральными характеристиками, близкими к характеристикам натурального алмаза.

Другой тип алмазных пленок – нанокристаллические пленки, обладающие большей однородностью, меньшей шероховатостью, существенно более плоской и ровной поверхностью, чем поликристаллические, они используются в электронных устройствах на поверхностных акустических волнах, таких как, например, узкополосные фильтры радиочастотного и микроволнового диапазона, а также в качестве катодов с холодной эмиссией электронов.

Весьма многообещающее применение у искусственных монокристаллов алмаза. Выращенные из газовой фазы, они являются высокочистыми и обладают высокой степенью кристаллического совершенства. Поэтому монокристаллический алмаз сегодня привлекает всеобщее внимание, прежде всего для создания алмазной электроники. При синтезе монокристаллического алмаза его можно превратить в полупроводниковый алмаз путем легирования, например, добавляя контролируемое количество атомов бора в газовую смесь. Такой широкозонный полупроводник имеет очень высокие подвижности электронов и дырок и существенно превосходит другие известные полупроводниковые материалы, включая кремний и нитрид галлия, по быстродействию, допустимой мощности, радиационной, химической и тепловой стойкости. Поэтому во многих зарубежных фирмах изучают монокристаллический алмаз в качестве основы для изготовления полупроводниковых устройств.



Нам в лаборатории также удается получать монокристаллические алмазные пленки высокого качества с гладкими гранями и низкой плотностью дефектов. В настоящее время мы разрабатываем технологию, которая давала бы возможность использовать уникальные характеристики монокристаллических алмазных пленок для создания электронных приборов в существующих технологических линиях. Необходимо преодолеть две главные проблемы: проблему недостаточной площади доступных на сегодня монокристаллов алмаза и проблему легирования. Мы впервые предложили использовать для создания электронных приборов подложки поликристаллического алмаза с включениями из монокристаллического алмаза с теми размерами, какими мы располагаем сейчас. Такие комбинированные алмазные пластины будут иметь диаметр поликристаллических пластин от 50 до 150 мм и содержать большое число вращенных прямоугольных (или круглых) монокристаллов алмаза размером до 5 × 5 мм. Для создания электронных приборов на таких алмазных пластинах толщиной 0,2–0,5 мм могут быть использованы технологические линии, уже разработанные для кремниевой технологии. На предложенный и опробованный экспериментально способ создания комбинированных подложек нами подана заявка на изобретение, которая получила положительное решение о выдаче патента РФ. Эта технология разрабатывается в кооперации с сотрудниками НПП «Исток», также совместно с ними решаются задачи создания активных электронных приборов.

– Для каких целей, в первую очередь, могут предназначаться алмазные приборы?

– Для алмаза характерны наибольшие напряженность поля электрического пробоя, теплопроводность и подвижность электронов и дырок среди всех полупроводниковых материалов. По совокупности параметров алмаз имеет заметные преимущества перед традиционными полупроводниковыми материалами и позволяет разрабатывать приборы с более высокой рабочей температурой, электрической мощностью и радиационной стойкостью. Данные характеристики алмаза привлекают внимание исследователей и разработчиков электронной компонентной базы.

Алмазные электронные приборы устойчивы к радиации, и, конечно, их использование целесообразно в первую очередь в космосе. На основе полупроводникового алмазного кристалла можно создать многие приборы твердотельной электроники, которые превосходят такие же кремниевые приборы по мощности и другим характеристикам. При массовом применении искусственного алмаза можно будет говорить об алмазной электронике. Алмазная электроника – это электроника XXI века, и мы в данном контексте являемся не только ее апологетами, но и активно работаем в этом направлении.

– Конкуренция большая?

– Да, конкуренция есть – тот же «Element Six». Эта компания, понимая всю перспективность алмазной электроники, финансирует многие программы Евросоюза, где участвуют ведущие лаборатории

Европы. В России эти разработки ведутся также в Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН. Поэтому мы стараемся быть не последними в этой научной гонке. Имея неплохой задел в области синтеза алмаза, мы подали заявку на конкурс мегагрантов на тему «Полупроводниковый CVD-алмаз для мощных и высокочастотных электронных приборов» и получили поддержку. Приглашенным ученым выступает в нашем проекте известный американский физик и инженер, профессор Батлер (J. Butler), многие годы работающий в этом направлении.

– Как вы формировали себе команду единомышленников?

– Главным критерием «отбора», если можно этот процесс так назвать, было наличие интереса у самого работника. Первым в нашей команде стал Алексей Горбачев (первый выпуск ВШОПФ). Он пришел сам ко мне еще студентом и сказал, что хотел бы делать что-то своими руками. Так он сделал свою дипломную работу, а затем и кандидатскую – сегодня он главный мой помощник, но не единственный, по его стопам идут уже пятеро. Все наши сотрудники универсалы. Что я имею в виду? По большому счету, мы причисляем себя к экспериментаторам. А для того чтобы выполнить требуемый эксперимент в данной области и получить хороший результат, нужно качественно провести диагностику как плазмы, так и выращиваемого материала, а затем выполнить такую чисто теоретическую работу, как компьютерное моделирование решаемой задачи. Все сотрудники нашей лаборатории в полной мере владеют этими навыками.

– Есть у вас научные интересы за рамками алмазной тематики?

– Алмазная тематика – это что называется любимое дитя. Кроме этого, были и остаются занятия по разработке и созданию оборудования для исследований в области физики ускорения заряженных частиц. В 1996 году мы совместно с сотрудниками Йельского университета (США) начали исследования по разработке активных компрессоров СВЧ-импульсов для применения в линейных коллайдерах нового поколения. Недавние испытания прототипа такого компрессора показали, что уровень нашей разработки компрессора позволяет предложить его для испытаний в Стэнфордском ускорительном центре или ЦЕРНе. Более подробно об этом можно прочитать, например, на сайте нашей лаборатории <http://www.ipfran.ru/structure/lab122/info.html>.

– Такая интересная и насыщенная научная жизнь, наверное, не могла не отразиться на ваших детях. Они пошли по вашим стопам?

– У меня два сына, оба закончили ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Старший работает в IT-компании. Младший выбрал науку и занимается решением различных электродинамических задач в ИПФ РАН, в 2011 году защитил кандидатскую диссертацию.

– Спасибо за интересный разговор, и новых успехов вам и вашим сыновьям!

Беседовала И. Тихонова

НАУКА БЕЗ ГРАНИЦ

На страницах нашего издания уже не раз упоминались гиротроны – когерентные источники мощного микроволнового излучения, разработка которых для различных приложений составляет одно из основных направлений работ ИПФ РАН, и в нем институт прочно занимает лидирующие позиции. Гиротроны с рекордно высокими уровнями излучаемой мощности – одна из «визитных карточек» института, и создаются они для разогрева плазмы в международных установках УТС. Одна из главных проблем на этом пути – «доставка» сверхмощного СВЧ-излучения в рабочий объем плазменного реактора. Сегодня в рубрике – краткий обзор ряда последних достижений сотрудников ИПФ РАН в этом актуальном направлении.

Плазменное зазеркалье, или как попасть по ту сторону зеркала

Физический механизм излучения, на котором основаны гиротроны, был открыт в конце 50-х годов XX века почти одновременно учеными в разных странах, однако последовательным его воплощением в электронике больших мощностей занялась лишь группа, руководимая одним из первооткрывателей – академиком А.В. Гапоновым-Греховым. Лидирующее положение удалось сохранить и до наших дней, сейчас ИПФ РАН стал одной из ведущих лабораторий мира, разрабатывающих гиротроны для различных применений, спектр которых довольно широк. Однако, пожалуй, наиболее впечатляющие успехи связаны с использованием гиротронов для нагрева высокотемпературной плазмы в токамаках и стеллараторах – больших магнитных ловушках, используемых в исследованиях по освоению управляемого тер-

моядерного синтеза (УТС). Весьма вероятно, что именно на таких установках будет основана энергетика не столь уж отдаленного будущего. Не удивительно поэтому, что в целом ряде ведущих научных стран ведутся такие исследования – как на установках «национального масштаба», так и на международных, объединяющих усилия ученых и инженеров сразу нескольких стран. Поэтому физика термоядерной плазмы в установках с магнитным удержанием, действительно, самая настоящая «наука без границ».



Ключевых проблем, если говорить о физике УТС, по сути, две – как нагреть и как затем удержать нагретую плазму в реакторе. Причем нагреть нужно очень сильно – для реализации реакции термоядерного синтеза вещество должно быть нагрето до сотен миллионов градусов, при этом оно неизбежно переходит в состояние плазмы. Чтобы разогреть плазму до столь высоких температур в современных экспериментах, как правило, одновременно используется сразу несколько методов нагрева. Их четыре – бомбардировка плазмы пучками энергичных атомов и три (различающиеся частотами) метода нагрева плазмы электромагнитным излучением. Самый высокочастотный из них основан на резонансном взаимодействии электромагнитных волн с вращающимися в магнитном поле электронами, физики называют такое явление электронно-циклотронным (ЭЦ) резонансом. Исторически этот способ стал применяться последним и только после того, как появились необходимые для него генераторы излучения – и это были гиротроны! Несмотря на то что стоимость единицы мощности излучения быстро возрастает с повышением частоты, ЭЦ-метод нагрева быстро получил распространение, причем его роль относительно других методов непрерывно возрастает и сейчас он рассматривается в качестве основного. В качестве подтверждения этому ниже приведен слайд из недавнего доклада одного из признанных экспертов в области физики термоядерной плазмы профессора Кейши Сакамото (Япония).

Основные преимущества ЭЦ-метода связаны с малой длиной волны (миллиметры) по сравнению с другими волновыми методами, что позволяет легко ввести излучение в установку и прицельно нагреть заданную область плазмы. В короткой заметке невозможно даже перечислить те крупные установки, проведение экспериментов на которых в значительной мере определяется возможностями современных гиротронов. Упомянем лишь, что и в строящемся во французском городе Кадараш первом в мире опытном токамаке-реакторе ИТЭР (International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER), и в строящемся в немецком Грайфсвальде самом крупном в мире стеллараторе Wendelstein 7X, именно гиротроны будут обеспечивать значительную долю «закачиваемой» в плазму мощности.

Итак, нагрев плазмы в установках УТС с магнитным удержанием – своего рода, mainstream применения наиболее мощных гиротронов. Естественно поэтому, что наряду с разработкой самих гиротронов, вот уже более тридцати лет в ИПФ РАН ведутся исследования физических основ взаимодействия СВЧ-волн с термоядерной плазмой. Результаты этих исследований, как правило, быстро распространяются по миру. Например, в институте еще в 1970-е годы была разработана простая в реализации схема ЭЦ-нагрева плазмы на первой гармонике, обеспечивающая возможность наружного ввода излучения в тороидальные установки УТС (А.Г. Литвак, Е.В. Суворов, А.А. Фрайман). Эта схема в настоящее время используется в большинстве крупных установок такого типа.

Для расчета профилей энерговклада излучения в плазму моими учителями был внедрен простой и эффективный лучевой подход с использованием

геометрической оптики в трехмерно-неоднородной магнитоактивной плазме, широко используемый сейчас во всех ведущих термоядерных центрах мира (Е.В. Суворов, Г.В. Пермитин). Однако для современных приложений геометрическая оптика уже не обеспечивает необходимую точность расчетов. Недавно наши сотрудники предложили более точный – квазиоптический – подход к моделированию распространения излучения в плазме. По сути, это новое асимптотическое приближение уравнений Максвелла в гиротропных средах, в рамках которого векторное волновое поле пучка восстанавливается из решения скалярного квазиоптического уравнения (А.А. Балакин, А.И. Смирнов, Г.В. Пермитин). На основе этой теории был создан квазиоптический волновой код LAQO, который сразу заинтересовал ряд крупных европейских плазменных лабораторий. Уникальной особенностью этого кода, отличающей его от конкурирующих разработок, является возможность корректного расчета дифракции волновых пучков в условиях сильной резонансной диссипации в неоднородной магнитоактивной плазме. Совместно с международной командой экспертов ИТЭР была продемонстрирована важность учета этих эффектов при моделировании ЭЦ-нагрева и генерации тока в наиболее крупных установках УТС масштаба ИТЭР (А.А. Балакин, М.А. Балакина, М.Н. Буянова, совместно с E. Westerhof из института DIFFER, Голландия). В настоящее время мы начали исследования роли квазиоптических эффектов в другой крупнейшей установке – стеллараторе Wendelstein 7X (Т.А. Хусаинов совместно с N. Maruschenko из Института физики плазмы общ. Макса Планка, г. Грайфсвальд, Германия).

Однако наиболее актуальной в последнее время оказалась проблема ЭЦ-нагрева очень плотной плазмы. Повышение плотности термоядерного «горючего», в свою очередь, необходимо (как и сам нагрев) для реализации реакции синтеза. Проблема здесь заключается в том, что традиционные способы передачи мощности излучения оказываются неэффективными, поскольку при повышении плотности выше некоторого критического значения плазма начинает вести себя как зеркало. Вместо того, чтобы распространяться вглубь плазменного шнура, излучение гиротрона полностью отражается. Однако оказывается, что в таком плазменном зеркале существуют дырки, появление которых связано с влиянием магнитного поля на распространение электромагнитных волн в неоднородной плазме. Поэтому специальным образом сфокусированный и точно нацеленный в такие дырки волновой пучок может проникнуть через них в «зазеркалье» – в плотную плазму, отгороженную от окружающего ее горячего «волнового мира» отражающим барьером. Попав в зазеркалье, пучок поглощается плазмой, отдавая при этом свою энергию электронам, а сама плазма эффективно нагревается. Таким образом, гиротрон можно применить для нагрева закритической высокотемпературной плазмы, то есть для решения задачи, для которой изначально гиротрон не был приспособлен. Интересно, что в электродинамическом плане задача неожиданно оказалась довольно богатой, поэтому для разработки и оптимизации схем нагрева плотной плазмы нам потребовалось развить новые фундаментальные подходы к описанию взаимодействия волн в трехмерно-неоднородной плазме (А.Г. Шалашов, Е.Д. Господчиков).

Реализация возможности ЭЦ-нагрева закритической плазмы оказывается важной и для тех больших установок, где для поддержания разряда с предельной плотностью плазмы рассматривается другой метод – инжекция пучков нейтральных атомов. Например, для стелларатора Wendelstein 7X необходимы пучки с энергией порядка 1 МэВ, однако разработка источников таких пучков в настоящее время столкнулась с серьезными технологическими трудностями. Поэтому вполне возможно, что именно ЭЦ-нагрев с использованием конверсии волн, гиротроны для которого уже разработаны, будет применяться как дополнительный способ поддержания разряда в плотной плазме в случае задержек запуска системы нагрева нейтральными пучками. Сейчас мы стараемся подготовить это резервное решение, используя сложившиеся тесные связи с сотрудниками Института физики плазмы в Грайфсвальде. Несмотря на то что стелларатор Wendelstein 7X еще не построен, в этом институте уже активно ведутся экспериментальные исследования возможностей СВЧ-нагрева закритической плазмы на установке WEGA.

Еще одно близкое к этому направление международного сотрудничества связано с тем, что гиротрон может использоваться не только для нагрева термоядерной плазмы, но и для ее диагностики. По сути, речь идет о своеобразном локаторе, принимающем рассеянное

Conclusion (2)			
Electron Cyclotron Heating and Current Drive is now a major tool for fusion research			
Rapid and Constant Progress of mm-Wave Technology			
1993	1997	2006	2007
1. NB	1. NB	1. NB	1. EC
2. IC	2. IC	2. EC	2. NB
3. LH	3. EC	3. IC	3. IC
4. (EC)	4. LH	4. (LH)	4. (LH)

Слайд из доклада проф. К. Сакамото на Международной конференции по инфракрасным, микроволновым и терагерцовым волнам (Рим, Италия, 2010), на котором показан рост роли ЭЦ-нагрева относительно других методов нагрева термоядерной плазмы. Обозначения: EC – электронно-циклотронный нагрев, IC – ионно-циклотронный нагрев, LH – нижнегибридный нагрев, NB – инжекция нейтральных атомов



Группа сотрудников ИПФ РАН, занимающаяся теорией СВЧ-нагрева термоядерной плазмы: д. ф.-м. н. А.Г. Шалашов, к. ф.-м. н. Е.Д. Господчиков, студент Т.А. Хусаинов (ВШОПФ ННГУ), д. ф.-м. н. А.А. Балакин, к. ф.-м. н. М.Н. Буянова.

излучение зондирующего плазму мощного гиротрона. Регистрация спектров коллективного рассеяния излучения гиротрона на флуктуациях плотности плазмы позволяет получать информацию о распределении ионов по скоростям с хорошим пространственным и временным разрешением – своего рода «портрет» ионной компоненты нагретой плазмы.

В пионерских работах по применению этого метода на стеллараторе Wendelstein 7AS, предшественнике Wendelstein 7X, сотрудниками ИПФ РАН впервые была продемонстрирована возможность надежного измерения температуры тепловых ионов (Е.В. Суворов, Л.В. Лубяко и др.). Позднее на этой же установке техника коллективного рассеяния была успешно применена для исследования микроустойчивостей плазмы, возникающих при инжекции мощных нейтральных пучков в тороидальную плазму, и для диагностики распределений энергичных ионов (А.Г. Шалашов, Е.В. Суворов, Л.В. Лубяко совместно с Н. Maassberg из Института физики плазмы общ. Макса

Планка, г. Гархинг, Германия). Для автора этих строк это был первый самостоятельный опыт организации большого международного эксперимента. Среди последних наших результатов в этом направлении можно указать объяснение природы аномальных спектров коллективного рассеяния излучения гиротрона, регулярно регистрируемых на токамаке с сильным магнитным полем FTU (А.Г. Шалашов, Л.В. Лубяко совместно с U. Tartari, G. Grosso и др. из Института альтернативных энергий ENEA, г. Фраскати, Италия). Следующий крупный шаг в диагностике плазмы может быть сделан при переходе в более коротковолновый субмиллиметровый диапазон. Необходимые для этого терагерцовые гиротроны были созданы в институте совсем недавно (М.Ю. Глявин, А.Г. Лучинин и др.), и с этими разработками наших коллег мы связываем большие надежды.

Объем заметки не позволяет перечислить все задачи, которые возникают перед физиками в связи с многочисленными приложениями гиротронов. Заметим лишь, что благодаря мировой экспансии нижегородских гиротронов объем наших задач непрерывно увеличивается, в том числе в географическом пространстве. Например, в прошлом году мы заключили наше первое соглашение с американской частной компанией, по которому мы обязались придумать систему дополнительного СВЧ-нагрева для довольно необычной для нас плазменной установки – ловушки с обращенным магнитным полем. Но это уже совсем другая история...

Александр Шалашов, д. ф.-м. н., зав. сектором СВЧ-методов нагрева плазмы ИПФ РАН

От редакции: к этой заметке остается добавить, что упомянутые автором теоретические результаты последних лет получены командой успешных молодых сотрудников института, уже снискавших высокие научные награды: д. ф.-м. н. Алексей Балакин (ученик профессора Г.М. Фраймана) – лауреат Государственной премии РФ для молодых ученых (2003) и обладатель золотой медали РАН в области физики для студентов (1998), д. ф.-м. н. Александр Шалашов и к. ф.-м. н. Егор Господчиков (ученики профессора Е.В. Суворова) – лауреаты медали РАН с премией для молодых ученых за 2008 и 2011 годы соответственно. Будем надеяться, за уже полученными ими результатами последуют новые весомые достижения, а сама группа (она на снимке) пополнится новыми талантливыми сотрудниками.

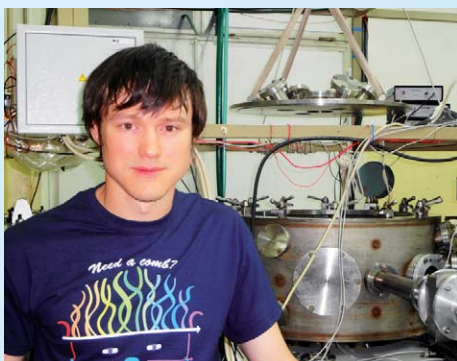
НОВЫЕ ИМЕНА

Работы молодых ученых ИПФ РАН в 2012 году вновь получили высокую оценку научного сообщества – трое молодых сотрудников получили медаль РАН с премией для молодых ученых. Это уже 15-я такая медаль в институте, начиная с 2000 года (года учреждения этой награды), и по их числу ИПФ РАН является абсолютным лидером среди институтов РАН. Сегодня мы беседуем с победителями последнего конкурса – Сергеем Бодровым, Игорем Иляковым и Даниилом Фадеевым.

Диапазон неоткрытых возможностей

Для справки.

Бодров Сергей Борисович родился в г. Горьком в 1980 году. В 2003 году окончил радиофизический факультет ННГУ им. Н.И. Лобачевского, в 2006 году – очную аспирантуру ННГУ и защитил кандидатскую диссертацию «Генерация терагерцовых волн движущимися светоиндуцированными источниками» (руководитель – профессор М.И. Бакунов).



С 2003 года работает в отделе сверхбыстрых процессов ИПФ РАН (Отделение нелинейной динамики и оптики), в настоящее время – старший науч-

ный сотрудник. Основное направление научной деятельности: исследование взаимодействия интенсивного фемтосекундного лазерного излучения с веществом и разработка эффективных методов генерации широкополосного терагерцового излучения.

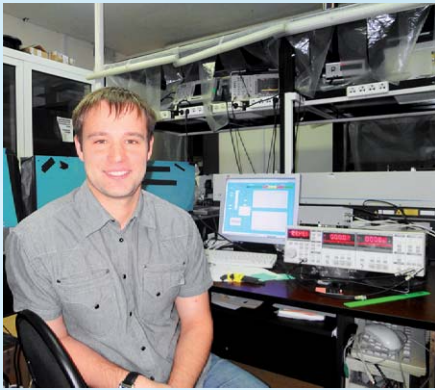
Исполнитель и руководитель ряда проектов, получивших поддержку РФФИ, Минобрнауки.

Автор 27 статей в ведущих российских и международных журналах.

Лауреат медали с премией для молодых ученых РАН по физике (2012), получатель гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук (2007–2009, 2010–2011), стипендии Президента РФ для студентов и аспирантов (2005), грантов фонда «Династия» по программам поддержки аспирантов (2004–2005) и молодых кандидатов наук (2006–2009), стипендии имени академика Г.А. Разуваева (2004, 2005), гранта «соросовский студент» Фонда Сороса (1998). Награжден почетной грамотой Министерства образования Нижегородской области (2009).

Женат, воспитывает дочь двух лет.

Иляков Игорь Евгеньевич родился в г. Горьком в 1983 году. В 2006 году окончил факультет Высшая школа общей и прикладной физики ННГУ им. Н.И. Лобачевского, в 2009 году – очную аспирантуру ИПФ РАН (руководитель – д.ф.-м.н. Р.А. Ахмеджанов).



С 2004 года работает в ИПФ РАН, в настоящее время в отделе нелинейной электродинамики (Отделение физики плазмы и электроники больших мощностей). Основное направление научной деятельности: экспериментальное исследование оптического терагерцовых преобразований. Последние 8 лет проводит экспериментальные исследования по генерации, применению и детектированию терагерцового излучения. Руководитель проекта РФФИ, участник проектов по программам фундаментальных исследований Президиума РАН.

Автор 17 статей в журналах и сборниках научных трудов.

Лауреат медали с премией для молодых ученых РАН по физике (2012), имеет другие научные награды (призовые дипломы и грамоты за участие в конкурсах работ молодых ученых ИПФ РАН, победитель конкурса докладов на международной конференции 4th Asia Summer School & Symposium on Laser-plasma Acceleration and Radiation (Taiwan, 2009).

Фадеев Даниил Александрович родился в г. Горьком в 1984 году. В 2008 году окончил факультет Высшая школа общей и прикладной физики ННГУ им. Н.И. Лобачевского (с отличием), в 2011 году – очную аспирантуру ИПФ РАН, к настоящему времени подготовил к защите кандидатскую диссертацию «Генерация терагерцового излучения ионизирующими фемтосекундными лазерными импульсами» (руководитель – к.ф.м.н. В.А. Мионов).



С 2006 года работает в отделе нелинейной электродинамики ИПФ РАН (Отделение физики плазмы и электроники больших мощностей).

Основные направления научной деятельности: исследования нелинейной динамики лазерных импульсов и взаимодействия солитонов в релятивистской плазме, оптического пробоя газов и филаментации, механизмов генерации терагерцового излучения различными плазменными объектами, разработка эффективных численных алгоритмов для моделирования динамических задач на распределенных вычислительных кластерах.

Автор 10 статей в ведущих российских и международных журналах.

Лауреат медали с премией для молодых ученых РАН по физике (2012), получатель стипендии фонда «Династия», стипендии академика Г.А. Разуваева, имеет несколько дипломов за победы на студенческих олимпиадах по физике и математике различного уровня. Награжден дипломом I степени Санкт-Петербургского государственного университета механики и оптики за лучшую работу III научной школы-практикума молодых ученых и специалистов «Технологии высокопроизводительных вычислений и компьютерного моделирования». Имеет сертификат компании NVIDIA об окончании обучения по программе подготовки специалистов в области программирования на языке CUDA для современных графических ускорителей.

– По итогам конкурса 2012 года вам троим присуждена медаль Российской академии наук с премией для молодых ученых за цикл работ «Разработка эффективных методов генерации и обнаружения источников излучения в малоизученном терагерцовом диапазоне длин волн». Это была изначально коллективная работа?

Бодров Сергей (Б.С.):

– Сначала это была скорее параллельная работа. Исследованиями по генерации терагерцового излучения я начал заниматься в аспирантуре ННГУ под руководством профессора М.И. Бакунова. После окончания аспирантуры продолжил свои изыскания в ИПФ РАН в лаборатории сверхсильных полей (заведующий д. ф.-м. н. А.Н. Степанов). В результате развития наших с М.И. Бакуновым работ мы предложили новые схемы эффективной генерации ТГц-излучения, реализация которых в дальнейшем была осуществлена на экспериментальном стенде Игоря Илякова. С этого момента началось наше с Игорем тесное сотрудничество. Позднее ряд экспериментов также был проведен на экспериментальной установке в нашей лаборатории сверхсильных полей.

Фадеев Даниил (Ф.Д.):

– Можно сказать, что с Игорем мы взаимодействовали практически изначально. Когда я начал работать в ИПФ РАН в отделе нелинейной электродинамики, Игорь уже активно занимался экспериментом по генерации и детектированию терагерцового излучения при оптическом пробое фемтосекундными лазерными импульсами. Мой руководитель В.А. Мионов заинтересовался этой работой с теоретической точки зрения и подключил к ней меня. Мы начали наши исследования с решения задачи генерации терагерцового излучения из плазменного столба, формируемого при оптическом пробое воздуха фемтосекундными лазерным импульсом. Тогда для меня, студента 6-го курса, эта задача была совершенно новой, хотя уже был опыт решения задач нелинейной динамики солитонов в релятивистской плазме. После того как пришло понимание основных закономерностей формирования плазменного канала, мы перешли к изучению процесса возбуждения низкочастотного тока в плазменном столбе фемтосекундным лазерным импульсом и процесса генерации ТГц-излучения этими токами. Здесь основной проблемой была интерпретация спектральных характеристик излучения. После нескольких неудачных попыток мы разработали математическую модель и численный код, который позволил нам рассчитать терагерцовый сигнал. Наиболее простой с точки зрения теоретической интерпретации оказалась самая эффективная лазерно-плазменная схема генерации мощного ТГц-излучения – схема с использованием бихроматического лазерного импульса. По этой тематике наша группа опубликовала две статьи с оригинальными результатами (в ЖЭТФ и Оптического журнале) и еще одну обзорную статью в журнале «Известия ВУЗов. Радиофизика».

Однако работа по исследованию лазерно-плазменных схем генерации ТГц-излучения продолжилась. Поскольку были получены новые экспериментальные данные, демонстрирующие более «тонкие» физические эффекты, в сотрудничестве с д. ф.-м. н. Н.А. Жаровой мы с моим руководителем построили более точную модель генерации ТГц-импульсов, что позволило нам опубликовать в 2010 году две статьи в зарубежных журналах (Phys. Rev. E и Journal of Infrared Millimeter and Terahertz Waves).

Примерно в это время экспериментальные исследования, проводимые Игорем, стали охватывать более широкий класс схем генерации, одной из которых была генерация ТГц-излучения с металлических поверхностей, облучаемых наклонно падающими фемтосекундными импульсами. Построение соответствующей теории является темой моих занятий в настоящее время, результаты их частично опубликованы в Optic Letters и вошли в мою диссертацию. Параллельно с изучением процессов генерации низкочастотных токов в плазменных объектах и излучения ими ТГц-импульсов я продолжаю заниматься уточнением модели пробоя воздуха.

В настоящее время я являюсь участником проекта по генерации и детектированию ТГц-излучения, которым руководит Сергей Бодров, и моя роль здесь состоит в оптимизации параметров бихроматического лазерного импульса. В качестве инструмента здесь используется разработанный мной численный код для моделирования ди-

намики оптического пробоя на современных графических ускорителях, и мы надеемся, что эти результаты позволят повысить эффективность генерации ТГц-излучения в бихроматической схеме. Надо сказать, что, несмотря на относительно невысокую эффективность, лазерно-плазменные методы позволяют получать наиболее мощное коротко-импульсное ТГц-излучение. Поэтому, как мне видится, нахождение оптимальных параметров данной схемы будет по-настоящему существенным вкладом в освоение ТГц-диапазона.

Иляков Игорь (И.И.):

– Экспериментальный стенд, на котором я провожу исследование, входит в состав лаборатории, руководимой д. ф.-м. н. Р.А. Ахмеджановым. Разумеется, я не один веду эти эксперименты, на установке мы работаем вместе с Б.В. Шишкиным. В эту лабораторию я пришел еще на 5-м курсе университета в 2004 году, когда еще только начала создаваться наша экспериментальная установка. Однако мое полноценное участие в подготовке и проведении экспериментов началось по окончании учебы, после поступления в аспирантуру ИПФ РАН в 2006 году.

Относительно характера нашей работы, отмеченной премией РАН, замечу, что некоторые из наших исследований были действительно совместными, а какие-то проводились независимо друг от друга. Взаимодействовать с Даниилом мы начали в 2007–2008 годах, после того как были проведены первые эксперименты по генерации ТГц-излучения при пробое воздуха путем аксиконной фокусировки фемтосекундных лазерных импульсов. Первая совместная работа с Сергеем была также в 2008 году. Мы экспериментально опробовали новую схему генерации ТГц-излучения, ранее теоретически рассмотренную, как упоминал Сергей, им и его научным руководителем М.И. Бакуновым.

– **Б.С.:** Можно подытожить ответ таким образом: несмотря на то что мы работаем в разных лабораториях и даже отделениях института, наши исследования лежат в одной плоскости исследований и близки по тематике, и у нас довольно много совместных работ. По всей видимости, это и послужило основанием для ученого совета ИПФ РАН, который выдвигал нашу работу на «молодежную» медаль РАН, предложить нам объединиться и представить на конкурс нашу работу единым циклом статей под общим названием «Разработка эффективных методов генерации и обнаружения источников излучения в малоизученном терагерцовом диапазоне длин волн». Что мы и сделали. По итогам конкурса 2012 года наша работа стала победителем в области общей физики и астрономии.

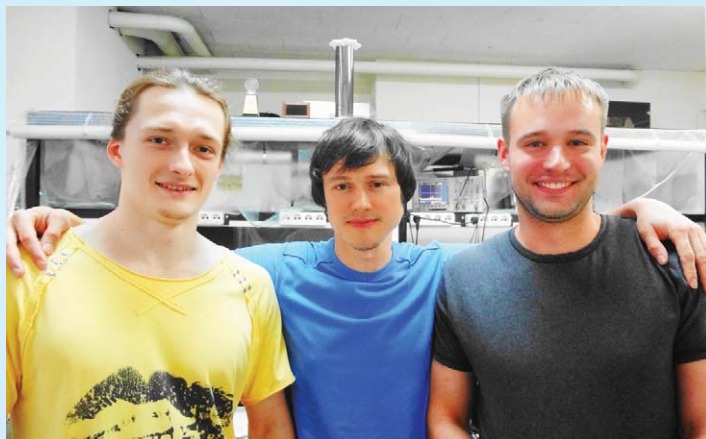
– **По-видимому, не только сам этот цикл оказался достаточно внушителен, но и тематика его была оценена как одна из наиболее актуальных. Поясните, пожалуйста, что же такое терагерцовый диапазон и чем этот диапазон так привлекателен, в чем его перспективы?**

– **Б.С.:** Терагерцовое излучение (диапазон частот 0,1 – 10 ТГц, 1 ТГц = 10^{12} Гц) – это область частот между оптическим (сверху по частоте) и миллиметровым (снизу) диапазонами, которые хорошо освоены как в целях проведения научных исследований, так и с точки зрения различных приложений. Для этого были разработаны, прежде всего, весьма эффективные источники электромагнитных волн соответствующих частот, и накоплен большой объем знаний о взаимодействии таких излучений с веществом в разных его состояниях. Что же касается ТГц-излучения, то здесь ситуация совсем другая – фактически этот диапазон на сегодняшний день мало освоен, это своего рода «terra incognita» электромагнитного излучения. Основная проблема здесь заключается в трудностях создания эффективных источников и детекторов ТГц-излучения. Можно выделить два направления решения этой проблемы – либо продвигаться в этот диапазон «сверху», со стороны оптики, либо, напротив, «снизу», т. е. повышать рабочую частоту генерации известных СВЧ-приборов, например гиротронов. Наши исследования касаются первого направления, а именно получения короткоимпульсного ТГц-излучения в результате взаимодействия лазерного излучения с веществом. Хотя замечу, что и второе направление весьма успешно развивается в ИПФ РАН на основе того громадного опыта, который есть в институте по разработке гиротронов.

Что же касается перспектив, то они как раз и связаны, в первую очередь, с малой изученностью ТГц-диапазона. Очевидно, появление эффективных схем и методов генерации таких сигналов сразу приведет к большому набору вариантов ответа «для чего?». Но уже сегодня ясно, что перспективы эти весьма широки, особенно в области диагностики и модификации различных сред и материалов. Это и понятно – новый диапазон излучения всегда тянет за собой новые возможности для исследований строения и свойств вещества. Сегодня активно обсуждаются возможности использования ТГц-излучения, например, в промышленных технологиях – контроль химических веществ, качества полупроводниковых элементов, в медицине – для создания безвредной для человека диагностики, в системах безопасности – для обнаружения взрывоопасных веществ. Одним словом, важных перспектив применений ТГц-источников весьма много.

– **Игорь, вы участвовали в недавно прошедшем всероссийском семинаре по физике микроволн, тематика которого включала также физику и применения терагерцового излучения. В ваших докладах упоминались результаты той работы, которая получила медаль РАН, или они касались исследований в другом направлении?**

– **И.И.:** Мной были представлены два доклада, оба касались новых результатов и не входили в заявку на конкурс РАН. Но на семинаре также был совместный доклад, представленный Даниилом, в него вошли несколько результатов, за которые нам дали медаль. Доклад касался генерации ТГц-излучения при облучении металлических поверхностей фемтосекундными лазерными импульсами, о чем Даниил коротко уже сказал.



– **Ваша совместная деятельность продолжится?**

– **Б.С.:** А она не может не продолжиться. В последнее десятилетие эффективность терагерцовых источников, основанных на преобразовании энергии лазерного излучения, выросла на 2–3 порядка. Однако для ряда приложений этого пока недостаточно, и необходимо развивать все более эффективные схемы генерации терагерцового излучения. Кроме того, всегда существуют задачи, когда необходимо оптимизировать тот или иной параметр излучения, соответственно, необходимо разработать источник и детектор с соответствующими характеристиками. Допустим, для одних задач нужна высокая энергия терагерцового импульса, для других нужен определенный спектр излучения, а для третьих – частота повторений импульсов и высокая средняя мощность. В целом, использование терагерцовых источников пока невысоко, но все же последние два года на рынке научного приборостроения стали появляться экспериментальные установки, которые, скажем, шесть лет назад Игорю приходилось собирать самому. Это говорит о том, что начал проявляться коммерческий интерес к некоторым приложениям терагерцового излучения как нового «инструмента» диагностики, которые, в свою очередь, ставят конкретные задачи для исследователей в этой области. Поэтому наша работа ведется как в направлении фундаментальных исследований, так и прикладных разработок, и институт нам в этом хорошо помогает.

– **Удачи вашей молодой команде и новых успехов!**

Беседовала И. Тихонова

Целый ряд направлений современной химии высокочистых веществ связан с разработкой технологий и созданием элементной базы для различных оптических применений. На страницах «Нижегородского потенциала» уже не раз рассказывалось об успешных инновационных разработках ИХВВ им. Г.Г. Девятовых РАН в этой важной области, в основном в направлении создания материалов для волоконной оптики. Сегодняшний материал знакомит читателя с еще одним направлением работ института, ориентированным на промышленное внедрение передовых технологий.

Из лаборатории в производство

Одной из наиболее востребованных разработок Института химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятовых РАН является технология оптических элементов из высокочистого поликристаллического селенида цинка. ИХВВ РАН стал центром компетенции по проблемам синтеза и обработки этого материала в России и осуществлял поставки опытных партий селенида цинка в различные организации. В связи с ростом спроса на селенид цинка, институт принял решение о промышленном внедрении этой технологии. 2013 год является юбилейным – 30-м с начала развития этой тематики в ИХВВ РАН, и данная статья является своеобразным отчетом о проведённой работе.

Исследования по созданию селенида цинка лазерного качества в нашей стране были инициированы выдающимся ученым, лауреатом Нобелевской премии А.М. Прохоровым в начале 80-х годов прошлого века. Необходимость разработки технологии высокопрозрачного селенида цинка была связана с перспективами гражданского и военного применения лазеров на углекислом газе. Расчеты показывали, что при достижении качества материала, близкого к теоретическому, селенид цинка будет значительно превосходить известные инфракрасные материалы по совокупности оптико-механических характеристик.

Первые образцы селенида цинка лазерного качества были получены методом химического осаждения из газовой фазы (CVD-метод) в Институте химии высокочистых веществ под руководством академика Г.Г. Девятовых в 1985 году. Образцы имели высокие эксплуатационные характеристики и широко применялись при разработке и изготовлении отечественных технологических лазеров в НИЦТЛ РАН (г. Шатура). Получение крупногабаритных оптических изделий из CVD-ZnSe для специальной техники было освоено в ИХВВ РАН к концу 90-х годов, когда удалось разработать физическую и математическую модели процесса осаждения селенида цинка и осуществить его масштабирование.

Важным этапом развития технологии селенида цинка в России стала передача в 2006 году Институтом химии высокочистых веществ лицензии на производство в ООО «НН ОПТИКА», организованное разработчиками процесса. Однако, несмотря на возросший до 450 кг в год объем выпуска оптических изделий, в настоящее время в стране существует не обеспеченная (на уровне 1000 кг в год) и ежегодно возрастающая потребность в высокопрозрачных оптических материалах на основе селенида цинка.

Проводимая работа с госкорпорациями, частными инвесторами долгое время не давала положительного результата, несмотря на их лестные отзывы о проекте в целом. Это связано с его достаточно длительной окупаемостью, около 5 лет, и специфическими риска-



ми, присущими любой высокотехнологичной деятельности. Ситуация изменилась в 2012 году, когда были привлечены частные инвестиции, и началась интенсивная работа по созданию современного производства, мощностью около 2,5 тонны оптических материалов в год. В Российском фонде технологического развития проект был также поддержан, и выделен целевой кредит в размере 80 млн. руб. на проведение масштабных конструкторских и технологических работ. Значительная и наиболее наукоемкая часть НИОКР будет проведена на базе ИХВВ РАН. Также будет доведена до промышленного внедрения оригинальная методика переработки отходов селенида цинка, что обеспечит экономические и экологические преимущества проекта. Решение этой проблемы было предложено и запатентовано ИХВВ РАН, неоднократно представлено на престижных международных выставках инноваций, за что институт получал высшие награды. Однако только сейчас появилась возможность провести масштабные исследования для внедрения этой технологии.

С начала 2000-х годов наблюдается почти экспоненциальный рост спроса на селенид цинка во всем мире, который обусловлен как увеличивающимся применением этого материала в современной военной технике, так и интенсивным использованием CO₂-лазеров в гражданской промышленности. В настоящее время практически весь селенид цинка производится в США, где при значительной государственной поддержке была разработана технология крупногабаритного CVD-ZnSe.

После запуска проекта ООО «НН ОПТИКА» будет первым промышленным производством CVD-ZnSe за пределами США, демонстрирующим рынок для европейских и азиатских компаний. В связи с военными применениями ИК-материалов на основе селенида цинка реализация данной технологии на территории России является стратегически важной.

Данный проект – позитивный прецедент развития инноваций: Институт РАН разработал технологию и осуществляет ее научное сопровождение, на базе малого предприятия эта технология была отработана и в настоящее время переходит на стадию промышленного внедрения. Очевидно, что такая форма взаимодействия является одной из наиболее продуктивных и позволяет создавать действительно наукоемкие производства. Поскольку в активе ИХВВ РАН имеются другие достаточно привлекательные в коммерческом плане разработки, инновационная деятельность института будет продолжена. Так, в сотрудничестве с Научным центром волоконной оптики РАН производятся опытные партии уникальных кварцевых и халькогенидных световодов, в том числе активных. По заказу Минпромторга осуществлена НИР по созданию фотоэлектрических приемников ИК-излучения на основе слоев кадмий-ртуть-теллур (КРТ), формируется программа выполнения ОКР. В планах на 2014 год, после запуска производства селенида цинка, аналогичное развитие другого материала – сульфида цинка. При поддержке инновационного центра РАН в текущем году ИХВВ РАН обеспечит защиту интеллектуальной собственности и проведет завершающие исследования для коммерциализации технологии активных элементов ZnSe:Cr²⁺.

Станислав Балабанов, к. х. н.,
зам. директора по инновациям ИХВВ РАН

"Нижегородский ПОТЕНЦИАЛ"

Главный редактор – академик РАН А. Г. Литвак
Ответственный редактор – к.ф.-м.н. А. И. Малеханов

Адрес: 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, ННЦ РАН
Телефон: (831) 436 8352, факс (831) 436 2061
E-mail: nncras@appl.sci-nnov.ru

Редактор – Н. Н. Кралина.

Верстка А. А. Маховой.

Логотип и фотография на 1-й странице С. В. Кротовой.

Отпечатано в ООО "Растр-НН", Нижний Новгород, ул. Белинского, 61