

**И.А. ЩЕРБАКОВ**

**40 лет Институту общей физики РАН**

## **Институт общей физики им. А.М. Прохорова: история создания и развития**

И.А. Щербаков

Рассмотрены история образования и развития Института общей физики им. А.М. Прохорова и его роль в становлении нового направления науки: квантовой электроники и таких её разделов как лазерная физика, нелинейная оптика, интегральная оптика, волоконная оптика, взаимодействие излучения с веществом. Развивались также такие прикладные области как лазерные технологии в промышленности и медицине.

Шестидесятые, семидесятые, начало восьмидесятых годов прошлого века были годами расцвета отечественной науки. Именно на это время пришлось становление Института общей физики, родоначальником которого была лаборатория колебаний ФИАН, которую возглавлял А.М. Прохоров. Развитие квантовой электроники стимулировало развитие совершенно новых технологий, которых тогда не существовало ни в СССР, ни в каких либо других странах, включая США. За рекордно короткие сроки в СССР были созданы новые институты, конструкторские бюро, высокотехнологические производства, подготовлены кадры специалистов.

В результате за короткий срок СССР превратился наряду с США в одну из двух лазерных сверхдержав.

Не последнюю роль в этом играли институты Академии наук СССР и, в частности, Институт общей физики им. А.М. Прохорова.

PACS numbers: 01.65.+g, 01.75.+m

---

И.А. Щербаков

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
ул. Вавилова 38, 119991 Москва, Российская Федерация  
E-mail: ivan11444.mail.ru

---

### **A.M. Prokhorov General Physics Institute: Hystory of Formation and Development**

Ivan A. Shcherbakov

The history of the formation and development of the A.M. Prokhorov General Physics Institute and its role in the formation of a new field of science—quantum electronics—and such its branches as laser physics, nonlinear optics, integrated optics, fiber optics, and interaction of radiation with matter are considered. Such applied fields as laser technologies in industry and medicine have also been developed at the institute.

The 1960s, 1970s, and early 1980s were the years of the dawn of Russian science. It was at this time that the General Physics Institute was formed, the forerunner of which was the Laboratory of Oscillations of the Lebedev Physical Institute, headed by A.M. Prokhorov. The development of quantum electronics stimulated the development of completely new technologies that were absent then in the USSR and all other countries, including the USA. In record time, new institutes, design bureaus, and high-tech production facilities were created in the USSR, and specialists were trained.

As a result, the USSR rapidly became one of the two laser superpowers, along with the USA.

Not the least role in this was played by the institutes of the USSR Academy of Sciences and, in particular, the A.M. Prokhorov General Physics Institute.

PACS numbers: 01.65.+g, 01.75.+m

---

Ivan A. Shcherbakov

A.M. Prokhorov General Physics Institute  
38 Vavilov St., 119991 Moscow, Russian Federation  
E-mail: ivan11444.mail.ru



Академик РАН Иван Александрович Щербаков,  
директор Института общей физики им. А.М. Прохорова с 1998 по 2018 гг.  
В настоящее время научный руководитель ИОФ РАН.

## Введение

Институт общей физики — это рукотворный памятник, созданный одним из величайших физиков XX века Александром Михайловичем Прохоровым. Автору этих строк очень повезло в жизни оказаться в нужное время и в нужном месте и провести в нем всю свою жизнь. Этим местом оказался Институт общей физики, носящий в настоящее время имя своего великого основателя и первого директора.

Институт был создан по постановлению Президиума Академии наук СССР 30 сентября 1982 года на базе отделения «А» Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР (ФИАН).

Организационный период длился около года и закончился к середине 1983 г. Этому событию предшествовала достаточно продолжительная история, способствующая становлению СССР как великой научной державы. Физический институт им. П.Н. Лебедева и вышедший из него Институт общей физики им. А.М. Прохорова сыграли в этом не последнюю роль.



Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

---

В 1952 году сотрудники ФИАН А.М. Прохоров и его ученик Н.Г. Басов на основе теоретического анализа указали на возможность создания усилителей и генераторов электромагнитного излучения с использованием явления вынужденных переходов в квантовых системах с инверсной населённостью уровней<sup>1</sup>.

Как говорил Александр Михайлович, к проведению такого анализа их побудила фундаментальная работа Альберта Эйнштейна 1916 года. В этой работе впервые было введено понятие индуцированного излучения возбужденных атомов под влиянием внешнего поля. Это было вызвано необходимостью выполнения закона сохранения энергии при рассмотрении статистического равновесия между молекулами и тепловым излучением, спектральная плотность энергии которого определяется формулой Планка.

Потребовались десятилетия для того, чтобы осознать, что именно понятие индуцированного излучения составляет краеугольный камень зарождающейся квантовой электроники.

Следующий принципиальный вопрос, который было необходимо решить, как создать инверсную населенность. Особую актуальность эта задача имела для оптического диапазона. Для оптических переходов, в отличие от радиодиапазона, верхние уровни практически не заселены. Необходимо было создать такие условия, чтобы населенность верхних уровней была значительной и превышала число атомов в нижнем состоянии. При этом необходимо учитывать и сильное спонтанное излучение, имеющее место в оптике и опустошающее населенность верхнего состояния.

---

<sup>1</sup> Ранее в 1939 году в ФИАНе В.А. Фабрикантом была защищена докторская диссертация, посвященная изучению спектров излучения газового разряда. В частности, в ней обсуждались эксперименты, доказывающие существование отрицательной абсорбции, и возможность увеличения интенсивности излучения в направлении возбуждающего пучка. В 1959 году В.А. Фабрикантом, Д.А. Бутаевой и М.М. Вудынским было получено авторское свидетельство и выдан диплом № 12 с приоритетом от 18 июня 1951 года с формулировкой открытия: «Установлено неизвестное ранее явление усиления электромагнитных волн при прохождении через среду, в которой концентрация частиц или их систем на верхних энергетических уровнях, соответствующих возбужденным состояниям, избыточна по сравнению с концентрацией в равновесном состоянии.». То есть говорилось о необходимости инверсной населенности для получения эффекта усиления. Однако инверсная населённость — необходимое, но недостаточное условие для получения генерации. Оптикам было непривычно понятие положительной обратной связи. Поэтому о возможности получения генерации речь не шла.

В 1955 году Н.Г. Басовым и А.М. Прохоровым был предложен эффективный универсальный способ создания инверсной заселенности в трехуровневой системе под воздействием внешнего источника накачки. Эта идея внесла решающий вклад в создание лазеров.

Следующим не менее важным компонентом лазера стал открытый резонатор, предложенный и реализованный А.М. Прохоровым в 1958 году.

Дело в том, что радиофизикам было хорошо известно, что для превращения усилителя в генератор необходимо организовать положительную обратную связь. В сантиметровом диапазоне эта задача решается использованием объёмного резонатора, размеры которого должны быть сравнимы с длиной волны генерируемого излучения. Длины волн оптического излучения составляют менее 1 мкм, что делало применение объёмных резонаторов в оптическом диапазоне невозможным в то время, так как существующий тогда уровень технологии не позволял достигнуть такой миниатюризации.

Для реализации положительной обратной связи для коротковолнового излучения А.М. Прохоров предложил использовать в качестве резонатора интерферометр Фабри-Перо: пару плоских параллельных пластин — зеркал, которые и были названы открытым резонатором. В этом случае длина волны излучения оказывается много меньше размеров резонатора. Были получены условия самовозбуждения и выражение для добротности системы. Идея была подтверждена экспериментально в работе А.М. Прохорова и А.И. Барчукова.



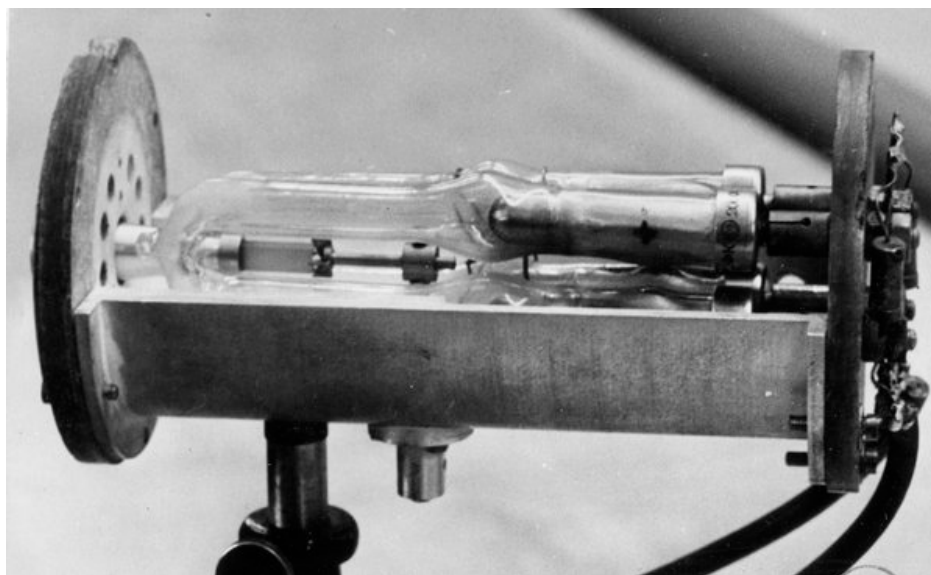
А.М. Прохоров, Н.Г. Басов и А.И. Барчуков в США (1958 год).

Предложение и реализация открытого резонатора снимало последние ограничения для продвижения в оптическую область спектра. Таким образом, к 1960 году было завершено создание фундамента физики лазеров.

Аналогичные исследования шли параллельно и в США в группах Ч. Таунса, А.Л. Шавлова, Н. Бломбергера.



Первый открытый резонатор.



На этой установке 18 сентября 1961 года М.Д. Галаниным, А.М. Леонтовичем и З.А. Чижиковой получена генерация лазера на кристалле рубина.

На основе созданного фундамента был запущен первый лазер на кристалле рубина в 1960 году в США Т.Н. Мейманом и в СССР в 1961 году М.Д. Галаниным,

А.М. Леонтовичем и З.А. Чижиковой в ФИАНе. Следует заметить, что выбор кристалла рубина был не случаен. Ему способствовала работа группы А.М. Прохорова по спектроскопии этого кристалла и его применению в парамагнитном усилителе.

В результате в 1964 году Нобелевская премия по физике была присуждена советским ученым Николаю Геннадиевичу Басову, Александру Михайловичу Прохорову и американскому ученому Чарлзу Таунсу за «фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на мазерно-лазерном принципе».



А.М. Прохоров, Ч. Таунс и Н.Г. Басов в ФИАНе (1965 год).

После создания рубинового лазера в течение одного года работы по получению генерации в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра стали выходить десятками. Эти ранние работы позволили осознать, может быть, не в полной мере, колоссальные возможности практического применения лазеров. Однако для этого фундаментальных исследований было недостаточно. Требовалось развитие совершенно новых технологий, которых тогда не существовало ни в СССР, ни в США. Необходимы были поиск и создание технологий новых материалов, разработка методов их прецизионной обработки, создание источников оптической накачки, методов напыления прецизионных зеркал и многое другое.





Бал лаборатории колебаний в колонном зале ФИАН по поводу получения Нобелевской премии (справа А.М. Прохоров, в центре Н.Г. Басов, 1964 год).

Развитие этих технологий требовало разработки нового технологического оборудования, создания особо чистых реактивов, методик и приборов контроля физических свойств материалов и многих других совершенно необходимых компонентов.

За рекордно короткое время в СССР были созданы новые институты, конструкторские бюро, высокотехнологичные производства, подготовлены кадры специалистов. В результате за короткий срок СССР превратился, наряду с США, в одну из двух лазерных сверхдержав.

Шестидесятые, семидесятые, начало восьмидесятых годов прошлого века были годами расцвета отечественной науки. Лидерство СССР в космической области, атомной энергетике было неоспоримым. Научный фундамент этих направлений закладывался, конечно, раньше. Даже в страшные годы войны открывались новые научные организации, не прекращались научные исследования. Prestиж ученого в послевоенный период был крайне высок. Исследовательские организации начали наполняться целенаправленной способной молодежью, родившейся уже после войны. Выпускников школ привлекала романтика научных исследований, понимание их важности для

развития страны. Этому способствовало и общее состояние общества. Большую роль в решении молодежи стать физиками сыграл знаковый фильм режиссера Михаила Ромма «Девять дней одного года», вышедший на экраны в 1961 году.

Именно на это время пришлось становление Института общей физики, родоначальником которого была лаборатория колебаний ФИАН, возглавляемая А.М. Прохоровым.

В процессе развития нового направления физики – квантовой электроники – на основе лаборатории колебаний в ФИАНе были организованы отделение «А», возглавляемое Александром Михайловичем, а затем и Институт общей физики АН СССР.

В течение всего этого времени ближайшими бессменными помощниками Александра Михайловича были легендарные Юрий Васильевич Рогов, заместитель заведующего лабораторией колебаний по хозяйственной части, и Лидия Митрофановна Кальченко, референт, обеспечивающая возможный комфорт в многотрудной деятельности Александра Михайловича.

И Юрий Васильевич и Лидия Митрофановна пользовались заслуженным уважением и авторитетом среди научных сотрудников. При образовании отделения «А» ФИАН в его структуре появились должности заместителей руководителя отделения по науке, которые заняли Иосиф Норайрович Сисакян, бывший до этого ученым секретарем ФИАН, и Борис Борисович Крынецкий, сотрудник Н.В. Карлова.

После образования Института общей физики заместителем директора по общим вопросам стал Юрий Васильевич Рогов, а заместителями директора по науке в будущем академики Федор Васильевич Бункин, Вячеслав Васильевич Осико, Евгений Михайлович Дианов и Камиль Ахметович Валиев. Последний в 1988 году ушел из ИОФАНа, выступив организатором Физико-технологического института и став его первым директором. Тем не менее, несмотря на малый срок пребывания в должности заместителя Александра Михайловича, его вклад в становление Института общей физики весьма существенен.

В 1994 году ушел из жизни Ю.В. Рогов, и его место заняли сразу двое сотрудников, Виктор Петрович Калинушкин и Андрей Викторович Каетонович.

Такая структура управления Институтом существовала вплоть до 1998 года и смогла обеспечить его жизнеспособность, включая и в провальные девяностые годы.

По инициативе Александра Михайловича основным направлением исследований в лаборатории колебаний стали физика лазеров и лазерная физика. Как уже указывалась, для физики лазеров – науки, изучающей собственно лазеры как объект исследования – был уже создан прочный фундамент. Задачами этого направления исследований были расширение спектрального диапазона излучения от ультрафиолетового до инфракрасного диапазона, создание лазеров с перестраиваемой частотой излучения, уменьшение расходимости лазерного луча до теоретического предела, повышение мощности, КПД, формирование импульсов различной длительности вплоть до сверхкоротких, определяемых теоретическим пределом.

Лазерной физике предстояло исследовать все возможности применений этого уникального инструмента. Она явилась родоначальником и других научных направлений: взаимодействия мощного излучения с веществом, нелинейной оптики, интегральной оптики, лазерного термояда, лазерных технологий и лазерной медицины. Все эти направления в той или иной мере присутствовали в тематике исследований лаборатории колебания, а впоследствии и Института общей физики.

### **Институт общей физики с А.М. Прохоровым**

Результаты мирового уровня не заставили себя ждать. По инициативе Александра Михайловича имеющийся в ФИАНе производственный технологический отдел был переориентирован на создание и исследование кристаллов для твердотельных лазеров. Возглавил отдел молодой кандидат химических наук Вячеслав Васильевич Осико, впоследствии академик, лауреат Ленинской и целого ряда международных премий.

Необходимо заметить, что в это время отношение к работам технологического плана было, мягко говоря, специфическим. Кристаллы выращивают, стекла варят, какая тут фундаментальная физика. Очень скоро это порочное мнение было разрушено, в том числе и работами, выходящими из вновь образованного подразделения, которое утратило название производственного и стало полноправным научным подразделением отдела колебаний, а кандидат химических наук В.В. Осико стал в то время самым молодым доктором физико-математических наук в ФИАНе.

В значительной степени успехи этого подразделения были обусловлены сосредоточием в нем работ по технологии роста кристаллов, исследованию их физико-химических и спектроскопических свойств, непосредственно по разработке лазеров. Руководителем спектроскопической группой был Ю.К. Воронько. Позднее на основе этой группы были выделены несколько групп, занимающихся спектроскопией кристаллов и стекол и возглавляемых его учениками С.Х. Батыговым, вашим покорным слугой, А.А. Соболев, Б.И. Денкером и Т.Т. Басиевым. Были налажены тесные связи с другими подразделениями отдела колебаний. В генерационных экспериментах активное участие принимал также сотрудник Института кристаллографии А.А. Каминский.

К основным достижениям этого подразделения того времени можно отнести создание самого мощного в то время двухсотваттного непрерывного твердотельного лазера на кристаллах флюорита, активированных ионами двухвалентного диспрозия с длиной волны генерации 2,36 мкм. Этот результат был получен благодаря фундаментальным исследованиям С.Х. Батыгова, позволившим сделать стабильным существование ионов диспрозия в двухвалентном состоянии. Оригинальная технология кристаллов фторидов была развита М.В. Дмитрук под руководством В.В. Осико. Широкому применению этого лазера препятствовало то, что он работал при температуре жидкого азота.

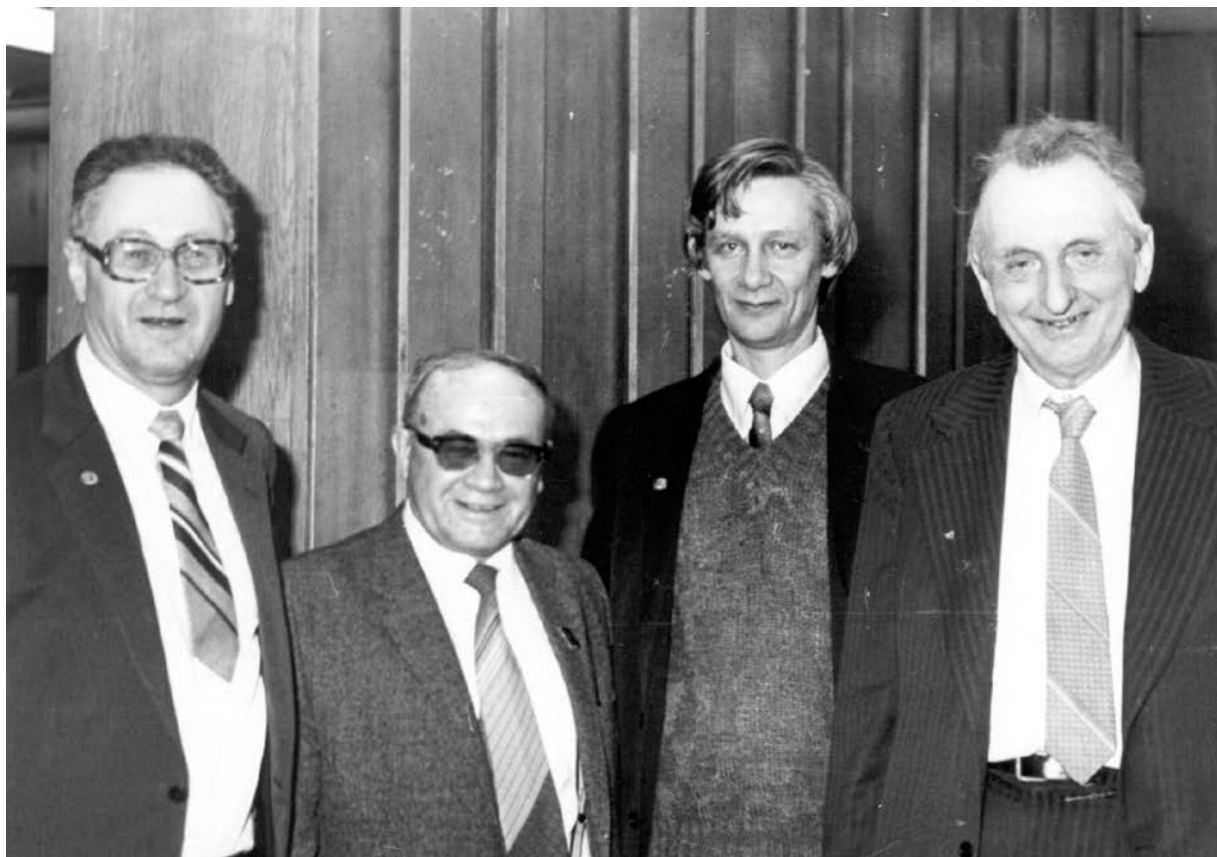
Была получена непрерывная генерация на ионах неодима при комнатной температуре в кристалле вольфрамата кальция. Эти результаты были крайне важны с точки зрения демонстрации возможностей твердотельных лазеров.

Поиск различных кристаллов с точки зрения их применения в твердотельных лазерах велся во многих лабораториях и результаты исследований показали, что наиболее подходящим является кристалл иттрий-алюминиевого граната (ИАГ) с ионами трехвалентного неодима. Однако технология выращивания этого кристалла, основанная на методе Чохральского, оказалась очень непростой и требовала применения дорогостоящих иридиевых тиглей. Достаточно также сказать, что время получения одной заготовки необходимого размера этого кристалла составляла около 20 дней. В течение этого времени необходимо было строго поддерживать условия роста, что достаточно сложно с технической точки зрения. Тем не менее группа технологов под руководством В.В. Осико взялась за решение этой задачи. Существенную роль в разработке технологии кристаллов  $\text{Nd}^{3+}$ :ИАГ сыграл М.И. Тимошечкин. В промышленности разработка этих кристаллов осуществлялась в НИИ «Полус» Министерства электронной промышленности. Здоровая конкуренция быстро дала свои результаты. Непосредственно испытанием кристаллов в лазерах занимался сотрудник лаборатории колебаний В.Г. Михалевич. Были достигнуты мощности непрерывной генерации в несколько сот ватт при комнатной температуре, и кристалл  $\text{Nd}$ :ИАГ на долгие годы стал одним из основных кристаллов квантовой электроники.

В результате фундаментальных исследований Т.Т. Басиева была разработана технология роста кристаллов  $\text{LiF}$  с центрами окраски, на основе которых им и его сотрудниками были созданы уникальные твердотельные, перестраиваемые в области ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов спектра (от 0,22 до 1,8 мкм) лазеры, используемые для обнаружения сверхмалых примесей токсичных тяжелых металлов. Эти результаты не имели аналогов в мировой практике.

Для разработки технологии и исследования нелинейных лазерных кристаллов, необходимость в которых была осознана вскоре после запуска первого лазера, была создана технологическая группа, поначалу состоящая из двух человек: Ю.С. Кузминова и Л.И. Ивлевой.

Поиск других лазерных кристаллов привел к неожиданному результату.



Генеральный конструктор НПО «Алмаз» Б.В. Бункин, директор НИИ «Полус» М.Ф. Стельмах, В.В. Осико и А.М. Прохоров (1980 год).

Вячеславом Васильевичем Осико и его сотрудниками была предложена и реализована новая технология выращивания особо тугоплавких кристаллов из холодного контейнера. В этой технологии расплав удерживается в трубчатом водоохлаждаемом контейнере, на стенках которого сохраняется спечённая охлаждаемая шихта самого материала, что, во-первых, не вносит в выращиваемый кристалл посторонних примесей, а во-вторых, практически снимает ограничение с величины температуры плавления. Таким способом были синтезированы кристаллы стабилизированной двуокиси циркония, имеющие температуру плавления  $2800^{\circ}\text{C}$ . Эти кристаллы практически не могут быть синтезированы никаким другим способом. Они стали известны на весь мир как фианиты, тогда как мало кто знает, что они получили это название потому, что были изобретены в ФИАНе.

Кристаллы фианитов в силу ряда причин не нашли применения в лазерах, но применяются широко в других областях, в частности в ювелирной

промышленности. Их свойства, такие как величина коэффициента преломления, его дисперсия, твердость, близки к свойствам алмаза. Близки настолько, что без специальных исследований их трудно отличить.

В настоящее время количество выпускаемых в мире кристаллов стабилизированной двуокиси циркония занимает второе место в мире после кремния.

В 1980 году за эту работу В.В. Осико и его сотрудники В.И. Александров и В.М. Татаринцев были удостоены Ленинской премии.

В качестве примера фундаментальных исследований, сыгравших важную роль в технологичных разработках, следует назвать работы А.А. Соболя по регистрации спектров рамановского рассеяния от расплавов, нагретых до температур 2200 К, т.е. от объектов, интенсивность теплового излучения которых на много порядков превышает интенсивность рассеяния. Такая возможность достигалась за счет спектрального и временного подавления фонового теплового излучения. В качестве источника возбуждения рассеяния использовался лазер на парах меди.

В качестве другого примера использования результатов фундаментальных работ на практике следует указать работы в области классической люминесценции. Речь идет об исследовании процессов безызлучательного переноса энергии между примесными ионами. Дело в том, что концентрация активных частиц в активном элементе лазера ограничивается фундаментальным процессом тушения люминесценции. Были сформулированы условия ослабления этого эффекта и созданы кристаллы и стекла с повышенной концентрацией рабочей примеси, что привело к увеличению КПД лазера. Было также преодолено противоречивое требование к активному элементу лазера, работающего с ламповой накачкой, и заключающееся в том, что для получения низкого порога генерации спектральная линия люминесценции должно быть узкой, а полосы поглощения для эффективной утилизации излучения ламп накачки должны быть широкими. Так как природа квантовых переходов идентичных частиц одна и та же, совместить эти требования весьма сложно. Задача была решена выявлением условий эффективного переноса энергии из широких полос

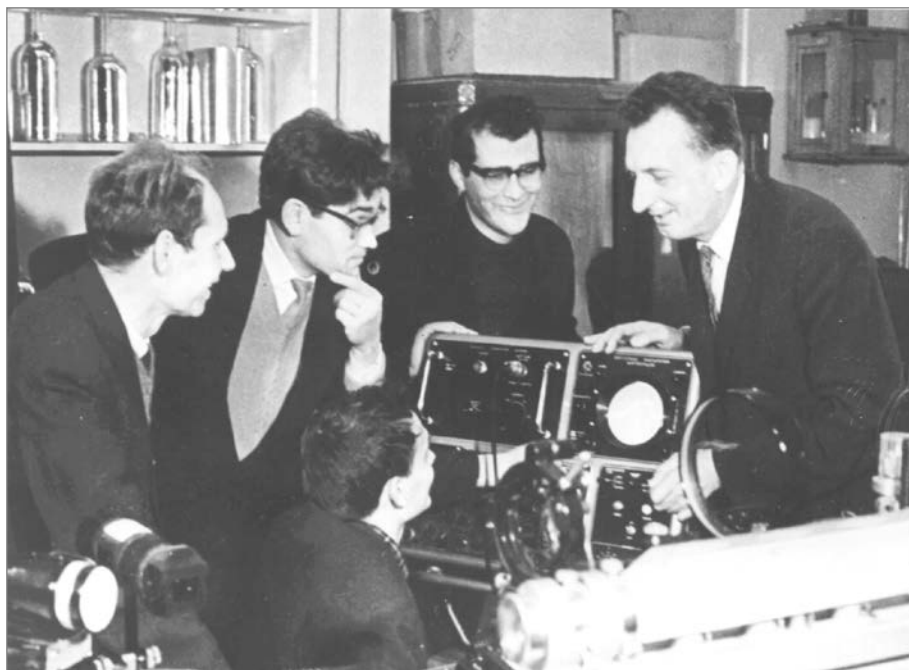
поглощения донорных частиц на узкие состояния акцепторов, являющихся рабочими частицами лазера. На этом пути были достигнуты рекордные КПД в лазерах с ламповой накачкой на основе трехвалентных редкоземельных ионов. В частности, на кристаллах скандиевых гранатов с ионами неодима был достигнут КПД 11% в режиме свободной генерации и 7,5% в режиме модуляции добротности, что являлось абсолютным рекордом.



А.М. Прохоров, И. А. Щербаков и В.В. Осико на конференции в Ташкенте (1989 год).

Совместно с лабораторией М.Х. Ашурова из Института ядерной физики Узбекистана была исследована радиационная стойкость кристаллов скандиевых гранатов и показано, что эти кристаллы не окрашиваются даже при дозах облучения  $\sim 10^6$  рад, что дает возможность их применения в условиях повышенной радиации.





А.М. Прохоров с сотрудниками лаборатории колебаний А.А. Маненковым, Л.А. Кулевским и аспирантом М.И. Джибладзе.

Революционным шагом явилось предложение диодной накачки, при которой кристаллический лазер, лазер на стекле, а в последнее время и на парах, накачивается полупроводниковым лазером. Поначалу эта идея вызвала неприятие. Зачем лазер накачивать лазером? Не сразу пришло понимание, что активный элемент лазера выступает в качестве синхронизатора фазы излучений полупроводниковых лазеров, что совмещает положительные качества полупроводникового и твердотельного лазеров. Существенный вклад в понимание физики селективной накачки внесли совместные работы Института с группой профессора Хубера из Гамбургского университета. На этом пути был предложен целый ряд новых кристаллов, в частности кристаллы ванадатов, в наибольшей степени отвечающих требованиям, предъявляемым технологией диодной накачки. Были достигнуты КПД, соответствующие теоретическому пределу, и созданы твердотельные лазеры, работающие от видимой до ближней инфракрасной области при комнатной температуре.

В тесном сотрудничестве с промышленными предприятиями результаты научных разработок доводились до практического применения в специальной технике, микроэлектронике (для очистки поверхности полупроводников),

медицине. Ряд медицинских установок, не имеющих аналогов в мировой практике, был экспортирован в Германию, Южную Корею и Болгарию.



А.М. Прохоров и И.К. Красюк (1974 год)

Под руководством П.П. Пашинина, В.Б. Федорова, Н.В. Карлова, А.А. Маненкова, В.В. Коробкина, В.К. Конюхова, Л.А. Кулевского, Т.М. Муриной были разработаны и созданы различные мощные лазерные установки, позволяющие производить исследования взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом при широкой вариации параметров излучения, таких как длины волны в ИК-, видимом и УФ-диапазонах спектра, длительности импульсов в нано- и пикосекундных диапазонах. В частности, созданы лазерные установки на крупногабаритных неодимовых стеклах, в том числе лазер с выходной энергией 10 кДж в миллисекундном импульсе. Открыто неизвестное ранее явление медленного горения лазерной плазмы. Обнаружен эффект нелинейного плазменного зеркала. В лазере с плазменным зеркалом осуществлены режимы свободной генерации, модуляции добротности и синхронизации мод с генерацией мощных пикосекундных импульсов.

В лазере на стекле с неодимом было также реализовано эффективное умножение частоты излучения и получены гармоники с длинами волн 0,53, 0,35 и 0,265 мкм мощностью не ниже 1 ГВт на каждой гармонике при длительности импульса излучения 10 нс. Преобразование основной части в четвертую гармонику достигало 50%.

С использованием лазерных установок «Сириус» и «Камертон» на неодимовом стекле группой И.К. Красюка были развиты методы генерации мощных ударных волн, что позволило в лабораторных условиях получить давления более 100 Мбар при длительностях воздействия нано- и пикосекундных диапазонов. В результате этих исследований совместно с группой В.Е. Фортова (ИВТАН) удалось создать уникальную методику анализа термодинамически полных уравнений состояния вещества в ранее неизученной области фазовых диаграмм.

Были предложены и реализованы лазеры на кристаллах граната с трехвалентными ионами эрбия, излучающие в области 3 мкм. Осуществлены режимы модулированной добротности с длительностью импульсов от 50 до 100 нс и режимы синхронизации мод с длительностью импульсов 100 пс. Эрбиевые лазеры были использованы в качестве накачки в параметрических генераторах на нелинейных кристаллах и получена перестройка излучения в диапазоне от 3 до 20 мкм.

Для управления спектральными, пространственными и временными характеристиками лазерного излучения использовались схемы с обращающими волновой фронт зеркалами, а также другие нелинейные процессы, такие как генерация гармоник, лазерный пробой, насыщение усиления в активной среде и оптических волокнах.

Группой А.П. Минеева была развита идеология и разработаны планарные волноводные  $\text{CO}_2$ -лазеры, возбуждаемые ВЧ- и СВЧ-разрядами. На их основе было создано новое поколение компактных газоразрядных лазеров непрерывного действия с мощностью более 100 Вт и высоким качеством излучения.

Совместно с Институтом сильноточной электроники СО АН СССР сотрудником Н.В. Карлова Г.П. Кузьминым был создан  $\text{CO}_2$ -лазер атмосферного давления с энергией импульса 7,5 кДж субмикросекундной длительности и  $\text{CO}_2$ -лазер сверхатмосферного давления с плавной перестройкой частоты в диапазоне  $46 \text{ см}^{-1}$ .

В 1961 году сотрудником отдела физики плазмы ФИАН Г.А. Аскарьяном был предсказан эффект самофокусировки интенсивного электромагнитного

излучения, заключающийся в его концентрации в нелинейной среде, показатель преломления которой возрастает при увеличении интенсивности света. Впервые это явление наблюдалось Н.Ф. Пилипецким и А.Р. Рустамовым (МГУ имени М.В. Ломоносова) в 1965 году.

При создании мощных лазеров на стекле с неодимом выяснилось, что мощность этих лазеров ограничена именно эффектом самофокусировки, приводящим к разрушению активной среды. Обсуждались, и надо сказать очень горячо, различные механизмы этого явления. А.М. Прохоровым и В.Н. Луговым была создана изящная теория эффекта самофокусировки: так называемая теория бегущих фокусов, которая была подтверждена в не менее изящных экспериментах А.А. Маненкова и В.В. Коробкина с сотрудниками.

В 1988 году за открытие и исследование эффекта самофокусировки Г.А. Аскарьяну, В.Н. Луговому и В.В. Коробкину совместно с А.П. Сухоруковым, Н.В. Пилипецким и В.И. Талановым была присуждена Ленинская премия.

Одной из проблем физики лазеров была проблема стойкости зеркал резонатора. Сотрудниками А.И. Барчукова и В.В. Аполлонова был проведен цикл исследований взаимодействия мощного излучения с зеркальными поверхностями металлов и определены критерии их разрушения в импульсном, непрерывном и импульсно-периодических режимах. В результате были созданы охлаждаемые элементы силовой оптики, порог разрушения которых во много раз превосходил пороги разрешения традиционной оптики. Вопросами оптической прочности диэлектрических кристаллов успешно занималась группа А.А. Маненкова.

Ю.К. Данилейко был выполнен широкий круг экспериментов по измерению оптической прочности кристаллов. Были измерены пороги их разрушения в зависимости от длительности лазерного импульса, длины волны излучения, площади засветки. Полученные результаты были необходимы при разработке мощных лазерных систем на основе твердотельных лазеров.

В 1966 году А.М. Прохоровым и В.К. Конюховым был предложен новый способ создания инверсной населенности в газовой среде: газодинамический лазер — разновидность молекулярных газовых лазеров. Инверсия в нем создается за счет различия в скорости процессов релаксации возбужденных уровней

молекул, содержащихся в нагретом до высокой температуры газе во время его протекания через сверхзвуковое сопло. При этом инвертированная газовая среда движется через оптический резонатор со сверхзвуковой скоростью. Первый газодинамический лазер непрерывного действия был создан В.К. Конюховым с коллегами в сотрудничестве с НИИ тепловых процессов в 1970 г. В дальнейшем принцип действия газодинамического лазера за счет сверхзвукового течения с расширением нагретой газовой смеси из углекислого газа, азота и паров воды был реализован во многих организациях.

Промышленный образец газодинамического лазера с мощностью излучения 100 кВт и длительностью импульса 10 с был сконструирован и построен в 1974 году в конструкторском бюро, которым руководил А.Д. Конопатов, в тесном сотрудничестве с группой В.К. Конюхова.

Говоря о разработках мощных лазеров, нельзя не вспомнить трагический случай, произошедший при испытаниях уникального  $\text{CO}_2$ -лазера, созданного А.И. Барчуковым с сотрудниками.

С конца 60-х годов  $\text{CO}_2$ -лазеры привлекали к себе внимание как источник непрерывного излучения высокой мощности, что важно для их применения в энергозатратных технологиях, таких как упрочнение материалов, резка и сварка кузовов автомобилей. Однако очень быстро стало ясно, что для достижения успеха по этим направлениям одной мощности не достаточно, а требует еще высокое качество луча. Для этого было необходимо организовать формирование высоконаправленного одномодового излучения и его последующее усиление в активных средах большого объёма. За воплощение этой идеи взялся А.И. Барчуков с сотрудниками. В результате лазер, отвечающий поставленным требованиям, был создан. Система оказалась крайне сложной, требующей постоянной настройки, но она работала и выдавала рекордные в мире результаты: 1,5 кВт в одномодовом режиме. Общая длина трубок с продольным разрядом составляла десятки метров и они были размещены в лабораторном помещении площадью всего 40 м<sup>2</sup> вместе с системами прокачки газов и мощного электропитания. Рождение этой системы, безусловно, обязано инженерному гению А.И. Барчукова.

С её помощью было получено большое количество фундаментальных и прикладных результатов. При проведении очередных экспериментов

произошло непоправимое: Александр Иванович попал под высокое напряжение. Приехавшая скорая помощь ничего не смогла сделать, и Александр Иванович погиб. Это случилось в 1980 году, несколько месяцев спустя после его шестидесятилетия. После этого трагического происшествия установка была разобрана, а имя Александра Ивановича Барчукова навсегда вошло в историю Института. Полученные группой А.И. Барчукова результаты оказались более чем востребованы.

Вся тяжесть расследования трагического инцидента легла тогда на плечи заместителя руководителя отделения «А» ФИАН И.Н. Сисакяна. Иосифу Норайровичу удавалось плодотворно совмещать административную деятельность с научной: он являлся одним из основателей нового направления — «Компьютерной оптики».

Создание мощных непрерывных CO<sub>2</sub>-лазеров стимулировало разработку других газоразрядных лазерных систем.

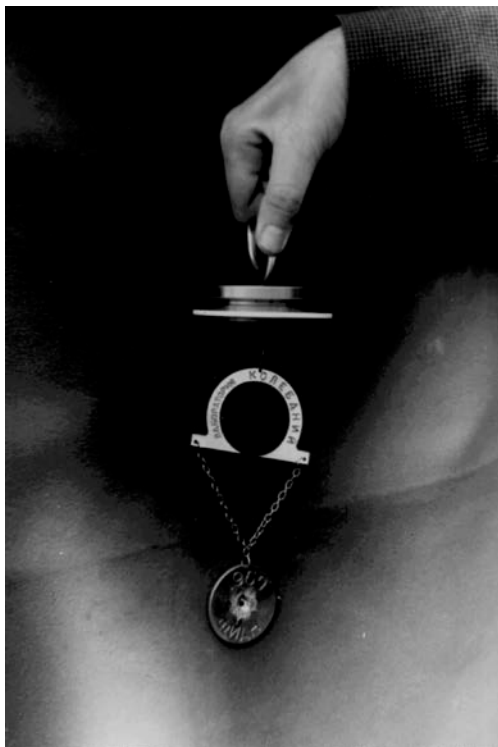
На основе идейно близкого подхода, но с использованием другой газовой смеси и другой схемы получения инверсии, появились мощные импульсные источники УФ-излучения — эксимерные лазеры — с высокой частотой повторения импульсов и, соответственно, высокой средней мощностью.

В.И. Конов с сотрудниками разработал лабораторные макеты эксимерных лазеров, которые были переданы в Центр физического приборостроения ИОФАН, в результате чего появилась целая гамма эксимерных полупромышленных лазеров стоваттного диапазона мощности, что соответствовало мировому уровню.

В результате благодаря усилиям группы ученых и инженеров ИОФАН и совместной работе с Центром микрохирургии глаза эти разработки привели к внедрению эксимерных лазеров в офтальмологию. Эффективное внедрение установок в медицинскую практику в значительной степени обязано руководителю Центра физического приборостроения ИОФАН С.К. Вартапетову.

В середине шестидесятых годов военные и ученые задались вопросом о возможности применения лазеров для противовоздушной обороны. К этому времени на основании уже полученных результатов можно было сделать вывод о том, что подобная идея не является утопической.

Сотрудниками А.М. Прохорова были достигнуты обнадеживающие удельные параметры лазеров на неодимовом стекле: энергосъём  $10 \text{ Дж/см}^3$  и КПД 2,5%. Выполненные оценки показывают, что для поражения цели требуется энергия порядка 100 кДж.



Знак «Омега», помещенный в фундамент строившегося здания института.

Представлялось вполне реалистичным создание лазера на неодимовом стекле с общим объёмом активной среды порядка  $1 \text{ м}^3$  с энергией излучения в длинном импульсе около  $10^6 \text{ Дж}$ . Этой энергии было вполне достаточно для поражения самолета.

В 1967 году вышло постановление ЦК КПСС, Совета Министров СССР и решение ВПК о создании лазерной системы для ПВО. Тема получила шифр «Омега». Научными руководителями работ по разработке комплекса «Омега» были назначены Александр Андреевич Расплетин (главный конструктор КБ «Стрела»), Александр Михайлович Прохоров и Борис Васильевич Бункин (заместитель генерального конструктора КБ «Стрела»). Со стороны лаборатории колебаний в работах по реализации комплекса «Омега» участвовали уже упоминавшиеся выше Ф.В. Бункин, А.А. Маненков, В.Б. Федоров, П.П. Пашинин, Е.М. Дианов и их сотрудники.

Работы по теме «Омега» пользовались поддержкой промышленного комплекса страны и щедро финансировались, что в значительной степени способствовало становлению Института общей физики. В частности, главный корпус института был построен в рамках темы «Омега» (1969–1972 гг.).

В процессе работы по теме «Омега» возникали и реализовывались и другие направления использования лазеров в целях повышения обороноспособности страны. Это, например, так называемое функциональное поражение целей, требующее существенно меньших энергозатрат и эффективно разрушающее системы наведения противника.

В начале семидесятых годов начала усиливаться тенденция к переходу от разработки лазеров к их применению в научных исследованиях, в медицинских и промышленных технологиях, хотя работы по совершенствованию лазерных систем также оставались актуальными.

В.И. Коновым с сотрудниками был обнаружен и исследован эффект низкопорогового оптического пробоя газов вблизи мишени. Установлены механизмы инициирования приповерхностной плазмы и связь порогов плазмообразования с состоянием поверхности облучаемой мишени. Показано, что образование оптического разряда на поверхности зеркал является фактором, ограничивающим предельную интенсивность импульсного CO<sub>2</sub>-лазеров. Показано, что, с одной стороны, приповерхностная плазма пробоя газов экранирует мишень, а с другой, может быть использована для термообработки металлов. Выполнены исследования процессов, позволяющих с помощью лазеров реализовать технологические операции изготовления тонкопленочных элементов и устройств, осаждения веществ и соединений из жидкой и газовой фаз, засветки фоторезисторов, физического и химического травления, синтеза поверхностных соединений, стимулирования поверхностных термохимических реакций.

Перспективным направлением исследований этой группы являлась лазерная микрообработка материалов. Исследовались физические и химические механизмы лазерного воздействия. Изучались закономерности лазерной абляции, и на их основе разрабатывались оптимальные режимы микроструктурирования, резки, сверления различных материалов. Лазерное облучение материалов



проводилось в атмосфере различных газов, в широком диапазоне интенсивностей вплоть до  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup> и длительностей от 100 пс до 4 мкс в ИК-, видимой и УФ-областях спектра.

Впоследствии на базе этой группы был организован отдел светоиндуцированных поверхностных явлений, а позднее Центр естественно-научных исследований, который первое время возглавлял А.М. Прохоров.

В.Г. Ральченко с сотрудниками проводились исследования в области синтеза поликристаллического алмаза из газовой фазы. Была разработана техника осаждения алмазных пленок с помощью плазмохимических реактивов с возбуждением плазмы в дуговом разряде, струйном плазмотроне постоянного тока, а также СВЧ-излучением. Получены алмазные пластины оптического качества толщиной более одного миллиметра. Разработан метод получения ультратонких (200–500 нм) нанокристаллических алмазных пленок с шероховатостью 10 нм.

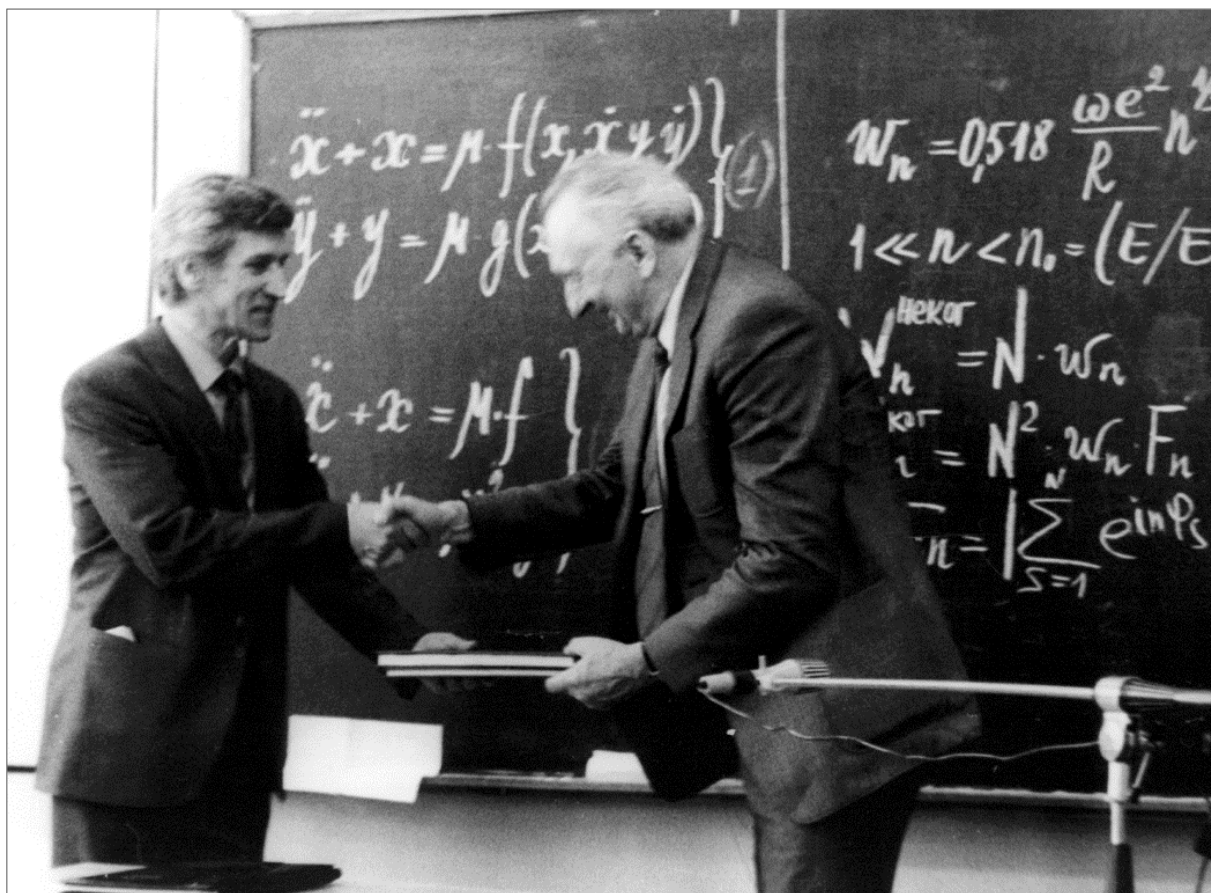
С использованием различных лазерных систем разработаны методы физической резки, сверления, полировки, создания трехмерных структур в алмазе. Реализован метод выжигания структур микронного масштаба при облучении алмаза лазером в режиме прямого рисования. Лазерным распылением графитовых мишеней получены углеродные защитные и антиотражающие покрытия на ИК-оптике.

П.И. Никитиным с сотрудниками были получены оригинальные результаты в области генерации магнитных и электрических полей лазерной плазмой и в исследовании магнитных полупроводников. При выполнении этих исследований был разработан целый ряд сверхчувствительных методов оптических и магнитных измерений. В частности, были предложены высокочувствительные оптические методы на основе фазовых особенностей поверхностного плазменного резонанса и низкокогерентной интерферометрии, позволяющие с пикометровой точностью измерять усредненную оптическую толщину биомолекул на поверхности стекол.

Предложены ультрачувствительные методы регистрации магнитных наночастиц. Разработанные методы оказались плодотворными для

биофизических и медицинских исследований. Был создан целый ряд оригинальных сенсорных устройств и прототипов приборов, не имеющих мировых аналогов. В результате был выигран целый ряд крупных международных грантов, что привело к уникальным результатам в междисциплинарных областях на стыке физики, биологии, химии и медицины. Так, например, были разработаны биосенсорные системы для диагностики онко-, кардио- и иммунных заболеваний. Они были также использованы при создании наноносителей лекарственных препаратов.

Н.В. Карловым с сотрудниками были применены методы лазерной спектроскопии для разделения изотопов и очистки веществ. Осуществлены двух- и трехступенчатые схемы изотопически селективной фотоионизации атомов редкоземельных элементов. Проведены изотопически селективные реакции атомов редкоземельных элементов с молекулами галогеноносителей, индуцированные резонансным лазерным излучением.



Секретарь семинара лаборатории колебаний ИОФАН В.Б. Фёдоров поздравляет А.М. Прохорова с семидесятилетием (1986 год).



На семинаре лаборатории колебаний ИОФАН (1986 год).

Ф.В. Бункиным с сотрудниками было осуществлено дистанционное зондирование поверхности океана микроволновыми и оптическими методами. Показано, что лазерные методы позволяют значительно увеличить пространственное разрешение и точность измерения характеристик морского волнения по сравнению с традиционными методами дистанционного зондирования. Разработана аппаратура, предназначенная для проведения экспрессного лазерного зондирования верхнего слоя океана с борта самолета.

Эти работы осуществлялись К.И. Воляком, А.Ф. Бункиным и В.Г. Михалевичем с сотрудниками. Одна из задач состояла в измерении аномалий вертикального распределения светорассеивающих примесей в водоемах с целью выявления источников аномалий антропогенного и природного происхождения (например, подводных течений и внутренних волн).

Летные эксперименты продолжались с 1982 по 1985 гг. на самолете АН-30 с разработанной в институте аппаратурой. Самолет налетал около 1000 часов на акваториях Баренцева, Охотского, Японского и Черного морей. В 1986 году очередную экспедицию пришлось отложить в связи с аварией на Чернобыльской АЭС.



Фёдор Васильевич Бункин (1929–2016).

На этот момент в СССР не было лидарных установок, пригодных для зондирования выбросов разрушенного реактора с безопасного расстояния. Зондирование выбросов реактора было проведено в августе-сентябре 1986 года совместно с ФИАЭ (г. Троицк).

В процессе летных экспериментов над территорией Средней Азии были разработаны технологии диагностирования стрессовых состояний растительности (недостаток или избыток влаги, различных микроэлементов).

С.М. Першиным совместно с сотрудниками Института космических исследований была разработана лазерная система для лидарного мониторинга среды обитания с предельно малой ( $\sim 1$  мкДж/см<sup>2</sup>) плотностью энергии импульса и не требующий защиты глаз от поражения. Созданный лидар имел большие преимущества по массе, энергопотреблению, надежности по сравнению с существующими лидарами, что позволило российскому лидару выиграть международный конкурс НАСА США среди лидаров, представленных на конкурс. Разработанный группой С.М. Першина лидар был включен в полет на планету Марс с миссией НАСА для зондирования атмосферы с борта посадочного модуля. Использование подобных лидаров представляет интерес для мониторинга вулканической активности с целью обнаружения предвестников.

Представляется перспективным также использование таких лидаров в навигации беспилотных автомобилей и других подвижных платформ.

Развиты оптические методы возбуждения и диагностики звука в жидкости. Предложен и реализован метод параметрического обращения волнового фронта ультразвуковых пучков, которое сопровождается усилением мощности ультразвукового пучка. При этом достигнуты коэффициенты усиления около 60–70 дБ. Метод позволяет осуществить автофокусировку ультразвуковых пучков с контролируемой мощностью на неоднородности в среде, в том числе движущейся.

Группой А.С. Епифанова и С.В. Гарнова были разработаны лазерные методы исследования многофотонных процессов в широкозонных кристаллах, основанные на изучении нестационарной фотопроводимости. Для щелочно-галогенидных кристаллов измерены коэффициенты многофотонного поглощения. Выявлена его роль как одного из основных фундаментальных механизмов лазерного разрушения кристаллов.

Группой С.С. Алимпиева был разработан лазерный масс-спектрометр для анализа примесного состава сверхчистых полупроводниковых материалов (Si, GaAs), позволяющий проводить анализ на содержание примеси с относительной концентрацией менее  $10^{-9}$ . Метод основан на селективной лазерной фотоионизации атомов примеси, полученных в результате лазерной абляции исследуемого образца непосредственно в камере масс-спектрометра. Предложен и реализован метод сверхчувствительной диагностики содержания органических соединений (фенолов, диоксинов) в питьевой воде с пределом обнаружения примеси на уровне относительной концентрации  $10^{-12}$ .

Группой В.А. Сычугова в исследованиях процессов распространения света в гофрированных волноводах обнаружен эффект полного отражения света от поверхности волноводов с периодически меняющимися вдоль направления распространения света параметрами. Как стало ясно впоследствии, эти работы явились предшественниками появившегося впоследствии направления исследований «Фотонные кристаллы».

Со дня основания в Институте общей физики большое внимание уделялось применению физических методов в медицине. Группой В.Б. Лощенова

с использованием лазерных источников излучения были исследованы спектры рассеяния, пропускания и люминесценции биологических тканей экспериментальных животных и человека для выявления информативных параметров, позволяющих осуществлять оптическую диагностику (оптическую биопсию). Анализ лазерно-индуцированной флюоресценции и рассеяния света биотканями, содержащими фотосенсибилизаторы, позволил создать надежные оптические методы диагностики рака и контроля фотодинамической терапии. Созданы медицинские установки для диагностики заболеваний (включая онкологические) внутренних органов при эндоскопии и хирургических операциях.

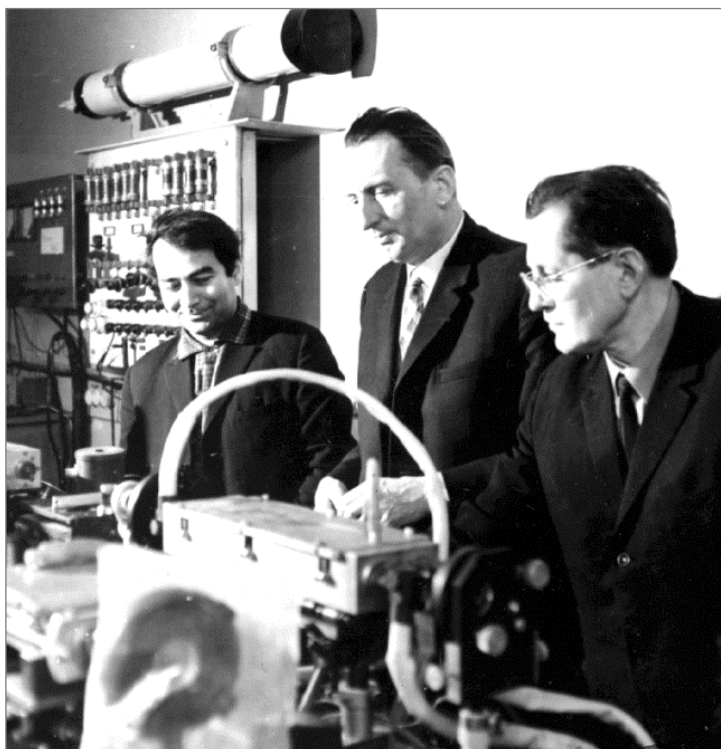
Группой Т.М. Муриной на основе разработанного Er:ИАГ-лазера разработаны приборы для взятия проб крови, хирургические лазерные установки для применения в стоматологии, косметологии и дерматологии.

Г.П. Кузьминым с сотрудниками предложена и реализована конструкция оригинального азотного лазера, с применением которого развит метод эндокавитарного лазерного облучения каверны больных туберкулезом легких. Применение этой методики существенно сокращает сроки лечения.

В государственном реестре открытый СССР под номером 65 с датой приоритета от 28 февраля 1963 года было зарегистрировано открытие А.М. Прохорова, Г.А. Аскарьяна и Г.П. Шипуло, определяемое формулой «Экспериментально установлено неизвестное ранее явление возникновения гидравлического ударного импульса при поглощении внутри жидкости светового луча квантового генератора (светогидравлический эффект)».

Казалось бы, какое отношение это может иметь к медицине? Тем не менее светогидравлический эффект был использован Д.Г. Кочиевым с сотрудниками при создании уникального медицинского прибора – лазерного литотриптора «Лазурит». Литотриптор – это устройство для фрагментации камней в органах человека при мочекаменной болезни. Лазеры для этих целей применялись и ранее, но «Лазурит» по своему воздействию принципиально отличался от своих предшественников. Разрушение камней при операции с помощью «Лазурита» происходит не за счет световой энергии, а за счет ударной волны, вызванной лазерным излучением. Преимущества этого метода состоят, во-первых,

в безопасности операции (мягкие ткани не подвержены действию ударной волны), и во-вторых, ударная волна действует на камни любых составов, при этом процедура совершенно безболезненна и эффективна, что сокращает время операции. В настоящее время прибор используется в ряде медицинских учреждений. С его помощью излечились и вернулись к нормальной жизни большое количество пациентов.



Слева направо: Г.А. Аскаръян, А.М. Прохоров и Г.П. Шипуло рядом с установкой для наблюдения светогидравлического эффекта.

Необходимо заметить, что все работы, связанные с медициной, начинались и велись по инициативе Александра Михайловича Прохорова при активном участии медиков из самых разных медицинских учреждений.

Ю.А. Косичкиным и А.И. Надеждинским с сотрудниками развита и внедрена в практику диодная лазерная спектроскопия. Идентифицированы физические процессы, определяющие ее предельные возможности. Реализована рекордная точность диодного лазерного спектрометра при измерении контура спектральных линий, что позволило провести ряд ранее недоступных фундаментальных и прикладных исследований.

Разработан и изготовлен комплект автоматизированной аппаратуры, позволяющий проводить измерения концентраций практически всех молекулярных газов с чувствительностью  $10^{-6}$ – $10^{-4}\%$  в спектральной области 0,6–2,5 мкм.

Группой Е.В. Степанова были заложены основы применения методов диодной лазерной спектроскопии для анализа газообразных молекул-биомаркеров в выдыхаемом воздухе, в том числе для высокоточного определения изотопического отношения  $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ . Этот подход используется для неинвазивной диагностики заболеваний с использованием препаратов, обогащенных стабильным изотопом углерода  $^{13}\text{C}$ , в частности, для определения инфекции хеликобактер пилори в желудке при гастритах и язвенной болезни.

В.В. Смирновым с сотрудниками созданы уникальные спектрометры высокого спектрального ( $0,001\text{ см}^{-1}$ ) и временного ( $10^{-8}\text{ с}$ ) разрешения. Разработаны источники перестраиваемого лазерного излучения в области спектра 2–18 мкм. При помощи этой аппаратуры развита новая область спектроскопии – нелинейная когерентная спектроскопия комбинационного рассеяния света в газах. Реализована локальная невозмущающая диагностика газовых параметров.

Все это позволило решить ряд фундаментальных и прикладных задач газового анализа и получить ранее недоступную информацию о структуре энергетических состояний, столкновительной динамике молекул и процессах преобразования внутримолекулярной энергии. Л.А. Кулевским и Ю.Н. Поливановым разработана нелинейно-оптическая спектроскопия объёмных и поверхностных фотонных поляритонов.

Для успешного развития лазерной физики и физики лазеров требовалось специальная аппаратура для исследования временных, спектральных и пространственных свойств лазерного излучения. Разработка такой аппаратуры проводилась в лаборатории колебаний группой М.Я. Щелева, впоследствии преобразованной в 1989 году в отдел фотоэлектроники Института общей физики. Направлениями исследований были фотоэлектронная диагностика, фемтосекундная дифрактометрия, физика фемтосекундных лазеров, физика и технология классических фотокатодов.





Справа налево: А.М. Прохоров, И.А. Щербаков и М.И. Щелев (2000 год).

Фотоэлектронная диагностика с использованием электронно-оптических камер (ЭОК), построенных на базе электронно-оптических преобразователей (ЭОП), обеспечивала фотографическую регистрацию двумерных картин быстропротекающих процессов, наблюдаемых в спектральном диапазоне от мягкого рентгеновского (1–10 нм) до ближнего инфракрасного (1,7 мкм) излучений. Было достигнуто субпикосекундное (0,5 пс) временное разрешение при чувствительности, достаточной для регистрации одиночных фотоэлектронов. Электронно-оптическая диагностика была внедрена в повседневную практику лазерных исследований, проводимых в Институте общей физики.

Удалось обнаружить ряд явлений, наблюдение которых было невозможно никакими другими средствами: эффект движущихся фокусов при самофокусировке излучения лазера, распространение фронта ионизации лазерной искры путем последовательных пробоев, обнаружение тонкой временной структуры в излучении лазеров с самосинхронизацией мод, смещение несущей частоты в пикосекундном лазерном импульсе, затягивание во времени пикосекундных световых импульсов, распространяющихся в волоконных световодах. Аппаратура, разработанная в группе М.Я. Щелева, применяется не только в Институте общей физики, но и во многих других организациях.



А.М. Прохоров и Е.М. Дианов (2001 год).

Работы по волоконной оптике были начаты в отделе колебаний в начале семидесятых годов по инициативе Александра Михайловича. Руководить этими работами Александр Михайлович поручил Евгению Михайловичу Дианову, который к этому времени уже был известен как создатель атермальных лазерных неодимовых стекол, за что в коллективе авторов в 1974 году был удостоен Государственной премии.

Разработка стеклянных волоконных световодов с низкими оптическими потерями была вызвана потребностью в создании передающей среды для систем оптической связи, разработка которой стала возможной после создания лазеров.

С самого начала работ перед группой Е.М. Дианова были поставлены задачи разработки технологии волоконных световодов, исследования нелинейных оптических явлений в волоконных световодах, создания волоконных лазеров и усилителей. Разработка технологии выращивания световодов с малыми потерями и световодов других типов велась в тесном сотрудничестве с Институтом химии высокочистых веществ РАН (Нижний Новгород).

За время немногим более пяти лет после начала работ были созданы волоконные световоды на основе кварцевого стекла с предельно низкими потерями порядка нескольких десятков долей дБ/км в ближней ИК-области

спектра, определяемыми фундаментальными свойствами материала. Это позволило передавать информацию на расстояние свыше 100 км без ретрансляции.

Первые отечественные световоды, соответствующие мировому уровню, были получены в 1975 году. На их основе был создан первый оптический кабель, первая оптическая волоконная линия связи в Зеленограде, линия связи на градиентных световодах для передачи ТВ-сигнала в Москве. Развитие этих работ привело к созданию радиационно-стойких и высокопрочных световодов для специальных применений.

Исследования вынужденного комбинационного (рамановского) рассеяния в волоконных световодах привели к созданию высокоэффективных волоконных рамановских лазеров и усилителей, работающих в диапазоне длин волн 1,1–2,2 мкм. Они широко применяются в волоконных системах связи и в научных исследованиях не только в нашей стране, но и за рубежом.

При исследовании нелинейных свойств стеклянных волокон был обнаружен эффект генерации второй гармоники, что противоречило существующим представлениям. Е.М. Диановым с сотрудниками была построена и подтверждена экспериментально модель этого эффекта, что открыло возможности эффективного наведения нелинейности второго порядка в волоконных световодах (так называемый полинг волоконных световодов). Применение полинговых волоконных световодов как нелинейных сред позволило создавать компактные генераторы второй гармоники лазерного излучения.

Были разработаны и исследованы халькогенидные и поликристаллические световоды из галогенидов серебра для среднего ИК-диапазона.

С момента начала работ по волоконной оптике группа Е.М. Дианова, избранного академиком РАН в 1994 году, эволюционировала в лабораторию, отдел, Научный центр волоконной оптики, который он создал и был его директором вплоть до своей кончины в 2019 году. Сотрудники Е.М. Дианова в коллективе авторов были трижды удостоены Государственных премий за разработки в области волоконной оптике в период 1974–2001 годов.

Сегодня Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» — остается одним из мировых лидеров в области волоконной оптики.

Вскоре после начала работ по физике лазеров в лаборатории колебаний была образована лаборатория физики поверхности под руководством А.В. Ширкова. Основное направление исследований — изучение явлений в приповерхностных слоях твердого тела. Впоследствии это направление, изучающее квантово-размерные эффекты, получило модное название «Нанотехнология». Необходимость создания этого подразделения была вызвана потребностью в зеркалах для резонаторов лазеров различных спектральных диапазонов. Потребности института в этих компонентах были полностью обеспечены.

Александр Михайлович, развивая работы в области лазеров, не допустил дискриминации направлений, не имеющих прямого отношения к ним.

Так, работы отдела физики плазмы были сосредоточены на решении фундаментальных вопросов физики плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза.

Создавались новые поколения сильноточных ускорителей, применялись новые методы нагрева плазмы, изучались токовые слои и процессы распада в плазме, исследовались новые методы генерации СВЧ-излучения, разрабатывались новые способы преобразования электромагнитного излучения в энергию постоянного тока.

В 1970 году Александр Михайлович направил академику-секретарю отделения общей физики и астрономии Л.А. Арцимовичу обоснование создания стелларатора «Ливень» — реактора для осуществления управляемого термоядерного синтеза, являющегося некой альтернативой реактору типа токамак. Вскоре вышло постановление правительства о сооружении данной установки в ФИАНе. Руководителем этих работ был назначен Матвей Самсонович Рабинович, заведующий отделом физики плазмы, которого сменил на этом посту Лев Михайлович Коврижных.



Л.А. Арцимович и А.М. Прохоров.

При разделе ФИАН на три отделения «А», «Б» и «В» отдел физики плазмы вошел в прохоровское отделение «А», а позднее и в Институт общей физики. В институте для стелларатора был построен специальный корпус. В результате было создано целое семейство стеллараторов: Ливень 1, Тор 1, Тор 2 и Л-2. Большую роль в создании этих установок сыграл И.С. Шпигель. На этих установках был получен ряд результатов мирового уровня. Подтвержден факт существования в стеллараторах замкнутых магнитных поверхностей, предложен и реализован метод их измерения. Предложен способ создания стеллараторного магнитного поля системой плоских эллиптических катушек. Были получены рекордно высокие плотности энерговыделения при нагреве бестоковой плазмы. Показано, что подавление пристеночной турбулентности на порядок уменьшает тепловые потери. Результаты, полученные на стеллараторах ИОФАН, стимулировали создание подобных установок и в лабораториях других стран. На 6-й конференции МАГАТЭ в 1976 году были представлены первые результаты экспериментов на стеллараторе Л-2. В этих экспериментах впервые была получена плазма с параметрами, которые ранее достигались только на токамаках.

Главное преимущество стеллараторов над токамаками — это принципиальная возможность непрерывной работы. Сегодняшние токамаки функционируют только в индуктивном режиме, который принципиально импульсный.

Сотрудниками отдела теоретически и экспериментально продемонстрирована экологическая опасность создания радиоотражающих плазменных зеркал в стратосфере с помощью микроволновых разрядов. Проанализированы возможности очистки тропосферы от озоноразрушающих фреонов с помощью наносекундных микроволновых разрядов с низким энерговыделением.

Был создан плазменный генератор с перестройкой частоты от 18 до 27 ТГц и мощностью 100 МВт. Разработан плазменный усилитель с выходной мощностью 10 МВт, усилением 25 дБ в сантиметровом диапазоне длин волн.

Нельзя не отметить персональные результаты мирового уровня, полученные выдающимися физиками и яркими творческими личностями, работающими в отделе физики плазмы. Это Гурген Ашотович Аскарьян и Анри Амвросьевич Рухадзе.

Г.А. Аскарьян был уже дважды упомянут как автор открытия самофокусировки и светогидравлического эффекта. Этими замечательными результатами далеко не ограничен его вклад в современную физику. Своими открытиями он обогатил многие разделы физической науки.

Им предложено использовать след светового луча в среде в качестве звуковода для протяженной направленной транспортировки звука или создания нового класса светоакустических антенн. Проведенные эксперименты подтвердили возможность транспортировки звука по следу луча. Продемонстрирована возможность захвата атомов в луче и их удержания в нем. Экспериментально зарегистрированы спонтанные магнитные поля при воздействии лазерного излучения на мишень.

Предложено и подтверждено экспериментально использование лазерного излучения для выжигания и испарения нефтяных и иных пленок на поверхности воды, а также на дорожных и аэродромных покрытиях. Это лишь немногочисленные примеры плодотворной деятельности Гургена Ашотовича на благо отечественной науки.



Анри Амвросьевич Рухадзе (1930–2018).

Выдающимся теоретиком был Анри Амвросьевич Рухадзе. Заложенные им основы плазменной электроники развились в новое междисциплинарное направление науки.

Разработка Анри Амвросьевичем теории пучково-плазменных генераторов когерентного электромагнитного излучения позволила реализовать плазменные генераторы мегаваттной мощности с перестраиваемой частотой и длительностью импульса на уровне сотен наносекунд. Помимо генераторов, были разработаны плазменные усилители электромагнитного излучения, в том числе широкополосные усилители шума.

Анри Амвросьевичем были заложены основы новой области физики — физики газового разряда в излучающей плазме. Он был руководителем около 70 кандидатских диссертаций. Среди его учеников более 30 докторов наук.

И Гурген Ашотович, и Анри Амвросьевич — крупнейшие советские и российские ученые, по-моему, были недооценены академическим сообществом. Этому способствовали их нелегкие характеры, удивительно органично сочетающиеся с доброжелательностью и обаянием. Как бы то ни было, они были и останутся навсегда гордостью отечественной науки.

Создателем и первым заведующим отделом сильных магнитных полей был В.Г. Веселаго. Под его непосредственным руководством была сконструирована и построена уникальная установка «Соленоид» мощностью 10 МВт для генерации стационарных магнитных полей до 200 кЭ в объёме 200 см<sup>3</sup>. Эта установка предоставлялась в распоряжение исследований не только ИОФАНа, но и других научных учреждений страны. Установку демонстрировали различным посетителям, которых удивляли висящим в воздухе тяжелым металлическим ломом.

В отделе были созданы различного типа магнитометры и микрокалориметры, предназначенные для исследования магнитных полупроводников, эпитаксиальных пленок, аморфных магнетиков, спиновых стекол, магнитных жидкостей.

В 1967 году В.Г. Веселаго опубликовал в журнале «Успехи физических наук» статью «Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями  $\epsilon$  и  $\mu$ ». Такое вещество должно обладать отрицательным значением коэффициента преломления, что влечет за собой целый ряд эффектов, которые описал В.Г. Веселаго и которые невозможны в обычном материале. Виктор Георгиевич предположил возможность создания таких материалов.

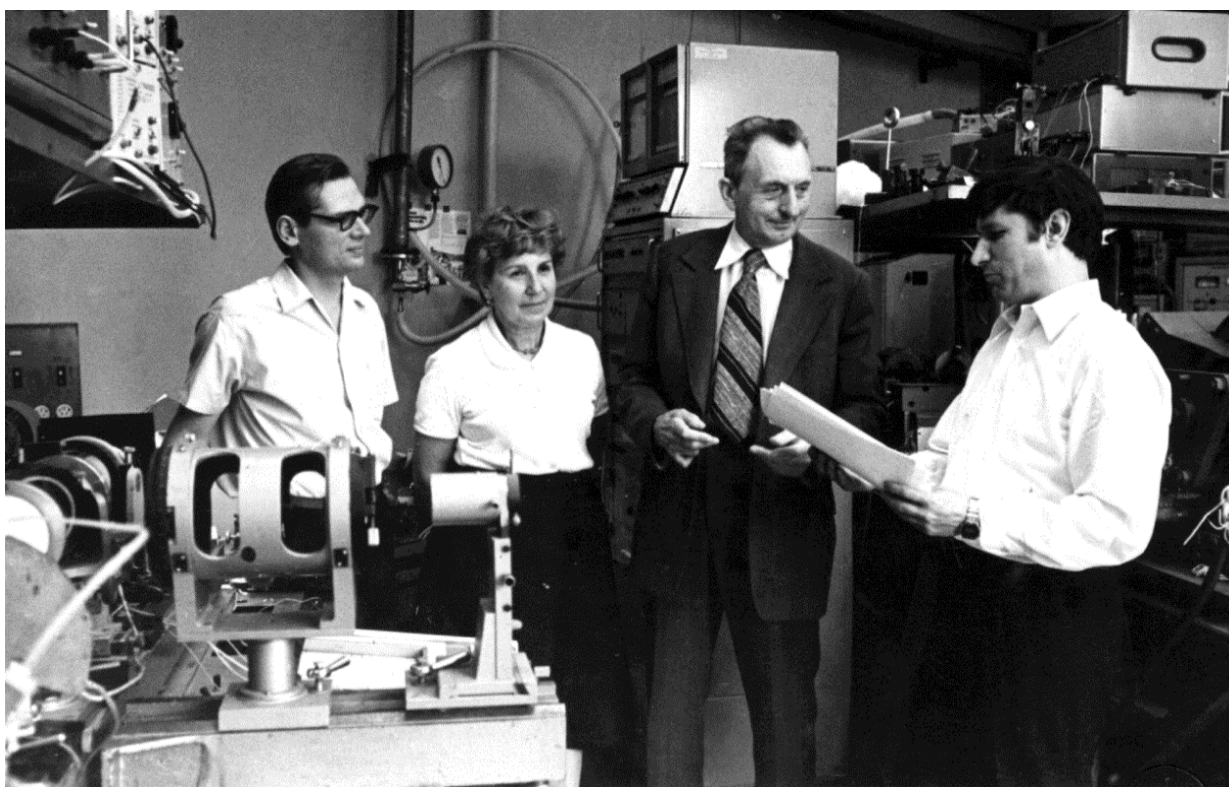
Эта работа вызвала резкую критику специалистов как нарушающая существующие представления и на много лет была забыта. Только в конце девяностых – начале двухтысячных работу В.Г. Веселаго вспомнили в связи с появлением искусственно модифицированных материалов с особой структурой, которые назвали метаматериалами.

Метаматериалы обладают рядом необычных электромагнитных свойств, предсказанных В.Г. Веселаго. В настоящее время метаматериалы уже нашли практические применения. Например, уже создана суперлинза (линза Веселаго), которая позволяет решить проблему дифракционного предела разрешения стандартной оптики. Было также показано, что на основе метаматериалов возможно создание покрытий, делающих невидимыми области пространства в определенном спектральном диапазоне. Введение в научный оборот понятия «отрицательный коэффициент преломления» требует уточнения ряда формул классической электродинамики, так как общепринятые формулы и уравнения, в которые входит величина коэффициента преломления, дают заведомо неверный результат для отрицательных значений этой величины. Работа



В.Г. Веселаго, опубликованная в журнале «Успехи физических наук» имела наибольший индекс цитирования среди всех статей, опубликованных в УФН за все время существования этого журнала.

К.Н. Ельцовым с сотрудниками был разработан сканирующий высоковакуумный туннельный микроскоп, соответствующий высшему мировому уровню, необходимому для успешного развития микроэлектроники и нанотехнологий. Основной целью работы этой группы являлось формирование новых оптических свойств путем контролируемого изменения размеров, структуры и химического состава поверхности наночастиц. Установлена принципиальная возможность управления оптическими свойствами пористого кремния путем модификации поверхности наночастиц хлорированием в сверхвысоком вакууме.



Лауреаты Государственной премии СССР 1980 года.  
Слева направо: Е.А. Виноградов, Н.А. Ирисова, А.М. Прохоров и Г.В. Козлов.

Традиционной тематикой лаборатории колебаний являлась спектроскопия субмиллиметрового или (как сейчас принято говорить) терагерцового диапазона. Первоначально это направление возглавляла старейшая сотрудница Александра Михайловича Наталья Александровна

Ирисова, приемниками которой стали ее ученики Г.А. Козлов и А.А. Волков, возглавившие уже отдел субмиллиметровой спектроскопии.

Экспериментальной базой этого отдела являются созданные в отделе уникальные субмиллиметровые спектрометры на основе ламп обратной волны (ЛОВ-спектрометры) для проведения прямых измерений диэлектрических и магнитных спектров веществ в диапазоне температур 1,8–600 К и магнитных полях до 70 кЭ. Объектами исследования являются кристаллы с неустойчивой решеткой (сегнетоэлектрики и кристаллы с несоразмерной фазой), полупроводники, суперионные проводники, сверхпроводники, низкоразмерные органические проводники, магнетики, дипольные стекла, керамики и полимеры.

Разработан новый подход к измерению электродинамических параметров проводящих материалов. Обнаружено сегнетоэлектричество в широком классе полупроводниковых кристаллов. Зарегистрированы полярные мягкие моды и состояния с неразмеченной фазой.

Теоретический отдел был создан уже упоминавшимся выше А.А. Рухадзе. Приемником на этом посту стал его ученик А.М. Игнатов. Основными направлениями работы отдела является физика плазмы и физика твердого тела. Исследования по физике плазмы посвящены развитию плазменной СВЧ-электроники.

Разработана теория плазменного СВЧ-усилителя, проводится численное моделирование плазменной СВЧ-электроники. Развивается теория сильно неидеальной плазмы. Разрабатывается кинетическая теория плазменно-пылевых кристаллов и кластеров, осуществлено численное моделирование пылевой плазмы. Разработана теория оболочечной структуры плазмы в электромагнитных ловушках.

В области физики твердого тела предсказано и исследовано новое квантовое мезоскопическое явление – перестройка спиновой структуры органического кластера  $Mn_{12}As$  в сильном магнитном поле. Это явление было экспериментально обнаружено при напряженности магнитного поля 180–400 Тл совместно с исследователями из ВНИИЭФ (Арзамас 16). В отделе также проводятся теоретические исследования по нелинейной электродинамике сегнетоэлектриков, теории молекулярных спектров и теории ленгмюровских пленок.

1980-е годы ознаменовались бурным ростом института и признанием его в качестве мирового лидера по целому ряду научных направлений. Кроме основного корпуса «Омега» усилиями Александра Михайловича были построены еще три корпуса: для Научного центра лазерных материалов и технологий (руководитель В.В. Осико), Центра волоконной оптики ИОФАН (руководитель Е.М. Дианов) и Центра естественно-научных исследований ИОФАН (руководитель А.М. Прохоров).

Если с введением в эксплуатацию первых двух корпусов в 1983 и 1988 годах соответственно особых проблем не возникало, то строительство третьего корпуса Центра естественно-научных исследований попортило много крови как самому Александру Михайловичу, так и всем к этому делу причастных. Дело в том, что в процессе строительства бюджетные деньги для его завершения закончились. Александру Михайловичу удалось найти ряд инвесторов и в результате здание было достроено и сдано в эксплуатацию в 1999 году. Но этим дело не закончилось. Вложившие в строительство деньги инвесторы стали в этой или иной форме претендовать на часть помещений института.

В девяностые годы в стране произошли катастрофические изменения, и многие институты Академии наук, как, впрочем, и другие государственные организации, выживали за счет сдачи в аренду части помещений различным коммерческим структурам. По этому пути пришлось пойти и Институту общей физики. Долги инвесторам были минимизированы и частично покрыты за счет сдачи помещений в аренду. Александр Михайлович держал этот процесс под строгим контролем и, как только это стало возможным, остановил его.

Во второй половине восьмидесятых годов прошлого века грянула горбачевская перестройка, приведшая в итоге к развалу великой державы. Ельцинские реформы только усугубили ситуацию. Ими содеянное не могло не сказаться и на положении АН СССР. Была предпринята попытка уничтожить академию. На первой сессии Верховного Совета РСФСР, избранного в июне 1990 года под председательством Б.Н. Ельцина было подтверждено принятое ранее решение о создании АН РСФСР. При этом из уст некоторых депутатов звучало: «.... надо ликвидировать Академию наук СССР как последний оплот

тоталитаризма». Усилиями руководства АН СССР и авторитетнейших академиков В.А. Коптюга, Е.П. Велихова, Г.А. Месяца, А.А. Гончара, И.М. Макарова, будущего Президента РАН Ю.С. Осипова и др. АН СССР была сохранена, но переформатирована в Российскую академию наук, а в 1991 году прошли выборы в неё новых членов. Все члены АН СССР сохранили в ней свое положение, т.е. произошла интеграция вновь образованной РАН и АН СССР. При этом финансирование вновь созданной РАН было сокращено, как сейчас принято говорить, кратко. Тем не менее академические институты, во всяком случае на территории России, были сохранены в отличие от многих ведомственных организаций, предназначенных для передачи прикладных научных разработок в промышленность.

Выделяемых бюджетных средств не хватало на уплату коммунальных услуг, а порой и на выплату мизерной зарплаты научным сотрудникам.

Врезался в память визит в институт Президента РАН Ю.С. Осипова и министра науки и технической политики Российской Федерации Б.Г. Салтыкова, относящийся, если мне не изменяет память к 1994 году. По какой-то причине, то ли визит был неожиданным, то ли Александр Михайлович запамятовал, что таковой должен состояться, но в институте в это время никого из руководства не оказалось. Александр Михайлович призвал меня, и я присутствовал при их разговоре. По причине экономии тепла и электричества в институте царил полумрак и было весьма прохладно. Встреча проходила в конференц-зале, все четверо присутствующих были в пальто. Приготовить чай, не говоря уже о чем-то более существенном, было некому. Юрий Сергеевич спросил у Александра Михайловича, не хочет ли он поменять персональную «Волгу» на имеющуюся в РАНовском гараже «Чайку». Александр Михайлович пропустил этот вопрос мимо ушей, ничего на него не ответив. Борис Георгиевич задал Александру Михайловичу вопрос, чем он может ему помочь. Ответ был таков: мне никакой помощи не требуется, я прошу о выделении дополнительных средств для института. Ответ министра: «Сколько надо, чтобы институт выжил?».



Ю.С. Осипов и А.М. Прохоров (1996 год).

Я не помню, какая была названа сумма, но какие-то дополнительные деньги были выделены, и на несколько месяцев институт был обеспечен выплатой зарплат и оплатой коммунальных услуг.

В сентябре 1994 года в газете «Известия» было опубликованное пропитанное болью и горечью интервью Александра Михайловича. Не могу не привести некоторые выдержки из этого интервью «... Невнимание (к науке) порождается глубоким непониманием того, что научный потенциал хрупок, разрушить его легко, а восстановить невероятно трудно, на это уйдут десятилетия». «...Невольно задумываешься: а нужен ли я своей стране? Ведь дело не только в том, что у ученых сейчас нищенская зарплата. Невыносимыми становятся условия работы. Науку — осознано или неосознанно — просто душат».

Трудно себе представить, какие титанические усилия предпринимал Александр Михайлович для сохранения научного потенциала института.

В это смутное время Александр Михайлович, как правило, с утра до позднего вечера находился в институте. Почти каждый день он звонил в различные инстанции, принимал зарубежные делегации. В значительной степени институт выживал за счет иностранных грантов, которые он получал благодаря мировой известности Александра Михайловича, и того задела, который был сделан в годы расцвета науки в СССР.

Важной стороной научной деятельности является организация конференций, на которых ученые обмениваются самыми новыми научными результатами. Российские ученые в девяностые годы были практически лишены этой возможности по причине отсутствия необходимых средств. Александр Михайлович уделял большое внимание этой проблеме.

В 1992 году по его инициативе была организована международная конференция по передовым лазерным технологиям – ALT (Advanced Laser Technologies). Первая конференция проходила в Зеленограде, Москва. Основным организатором конференции был Институт общей физики РАН. Однако активное участие в ее организации принимали и другие ведущие научные организации России. Так питерскую «команду» представляли коллективы ГОИ и ЛИТМО во главе с А.М. Бонч-Бруевичем. МГУ был представлен коллективом кафедры общей физики и волновых процессов, известной своим вкладом в развитие лазерной физики. Следует отметить активную организаторскую деятельность сотрудников МГУ А.П. Сухорукова и В.А. Макарова.

Участие Александра Михайловича в работе конференции всегда вызывало большой интерес и привлекало к участию в ней зарубежных ученых.

Благодаря его авторитету и организаторским способностям удавалось организовать участие российских ученых в работе конференции практически бесплатно. Удавалось договориться с зарубежными партнерами о финансовой поддержке конференции, и российские участники освобождались от уплаты организационных взносов, а часто и от оплаты проживания. Конференции были успешно проведены в Чехии, Германии, Греции, Франции, Италии, Румынии, Турции, Китае, Южной Корее, Болгарии, Нидерландах, Великобритании, Финляндии, Венгрии, Черногории, Швейцарии, Испании и Португалии.

В настоящее время конференция ALT является одной из ведущих международных конференций по лазерной физике и продолжает привлекать внимание физиков из разных стран.

В конце девяностых годов Александр Михайлович принял решение оставить пост директора института. Своим приемником на этом посту он определил меня, что явилось большой неожиданностью для всех и для меня в

том числе. Не знаю, чем это было вызвано. В то время в институте были более авторитетные ученые с большим организационным опытом. Тем не менее эти выборы-назначение произошли в 1998 году, и вся процедура заняла не более двух недель: ученый совет института с участием академика-секретаря Отделения общей физики и астрономии Л.В. Келдыша, собрание Отделения, утверждение на Президиуме РАН. Все! Так определились двадцать лет моей последующей жизни.

Позднее, находясь в должности академика-секретаря Отделения физических наук, с 2013 по 2022 год мне довелось быть председателем кадровой комиссии Президиума РАН, обеспечивающей процедуру выборов директоров институтов, находящихся под научно-методическим руководством РАН. Процедура стала длительной и громоздкой, занимающей в среднем около полугода и сопровождающаяся подковерной борьбой и скандалами. Ну, это так, к слову.

Я не представляю себе начала своей деятельности на посту директора института без поддержки и помощи Александра Михайловича, помощи очень тактичной и ненавязчивой. Влияние Александра Михайловича на повседневную жизнь института не уменьшалась, но марионеткой при этом я себя не чувствовал.

При этом уход Александра Михайловича с поста директора никак не означал его уход от научной деятельности, она только усилилась. Он стал руководителем образованного на базе отдела светоиндуцированных поверхностных явлений Центра естественно-научных исследований. Такое название предполагало самую широкую тематику научных исследований. Этот центр и сегодня остается одним из наиболее успешных подразделений института.

Вспоминается один неприятный для меня инцидент, происшедший в первые месяцы моего директорства. Дело в том, что в кабинете Александра Михайловича имелась так называемая «вертушка», телефон правительственной связи. Александр Михайлович дал мне ключи от своего кабинета, чтобы я при необходимости мог в любое время воспользоваться этим аксессуаром. И вот в одно прекрасное утро мне звонит бессменная, легендарная помощница Александра Михайловича Лидия Митрофановна Кальченко с просьбой немедленно зайти.

Александр Михайлович с каменным лицом просит отдать ему ключи от кабинета и не приходить к нему без его вызова. Я в отчаянии, что же я такого мог натворить, что вызвало такую резкую реакцию Александра Михайловича? Не спал всю ночь, но ничего так и не придумал. Наутро снова звонок Лидии Митрофановны с просьбой зайти. Александр Михайлович вернул ключи и сказал, чтобы я забыл о происшедшем эпизоде. Оказалось следующее. Кто-то сказал Александру Михайловичу, что я запретил канцелярии ставить институтскую печать на подписанных им документах. На самом деле для института были изготовлены фирменные бланки, которые вообще не предполагали печати на подписи кого бы-то ни было, о чем было и указано мною канцелярии. Александр Михайлович сам разобрался в сложившейся ситуации, и, таким образом, я был оправдан. В дальнейшем доступ к «вертушке» помог решить многие проблемы. Для примера две из них. Александру Михайловичу удалось получить из Мэрии в лице Ю.М. Лужкова средства на выполнение некоего проекта, касающегося работ по фотодинамической терапии. Деньги должны были прийти из банка «Столичный» принадлежащего олигарху А.П. Смоленскому. Банк, не объясняя причин, отказал в переводе этих денег в институт. Я раз по десять на дню звонил в приемную Ю.М. Лужкова с жалобами на А.П. Смоленского, и столько же раз в приемную А.П. Смоленского с передачей возмущения Ю.М. Лужкова. Такая тактика сработала. В течение двух недель деньги институтом были получены.

Позднее (в значительной степени с помощью «вертушки») удалось решить проблему установки памятника Александру Михайловичу. Занимались этим в основном мы с Е.М. Диановым. Дело в том, что по закону дважды Героям Социалистического Труда на их родине должен быть установлен бюст. Александр Михайлович родился в Австралии, и мы стали доказывать, что бюст надо установить не в Австралии, а в Москве. Неоднократно писались письма сначала Ю.М. Лужкову, потом С.С. Собянину с просьбой об установке памятника. «Вертушка» помогала контролировать продвижение рассылаемых писем. Отказов не было, но и денег тоже. Финансовую проблему помог решить сотрудник мэрии А.Г. Комиссаров путем перераспределения средств между различными



департаментами Мэрии, за что ему глубоко признательны все сотрудники института и не только они одни. Деньги были выделены, и конкурс на создание памятника был объявлен.



Памятник А.М. Прохорову  
в Москве на пересечении Университетского и Ленинского проспектов.

В институте создали комиссию по приему проектов памятника, в которую входили сотрудники института и члены семьи Александра Михайловича. Если мне не изменяет память, было подано семь проектов. При их рассмотрении комиссией единогласно был выбран проект, представленный скульптором

Е.М. Казанской и архитектором А.К. Тихоновым. Памятник, на мой взгляд, получился замечательный. Он установлен на пересечении Университетского и Ленинского проспектов и был открыт 9 июля 2015 года.

В конце девяностых годов в стране сохранялись сепаратистские тенденции, которые оказывали влияние и на настроение в институте. Руководители крупных подразделений института предлагали разделить институт на несколько самостоятельных юридических лиц, обосновывая это тем, что небольшим коллективам в сложившихся условиях проще выжить, чем большим организациям, имеющим разнородные подразделения и большой административный аппарат. Я был категорически против разделения института, так как понимал, что общая институтская инфраструктура не может быть безболезненно разделена. Александр Михайлович мудро сохранял молчание в этом противостоянии, хотя я прекрасно понимал, что одно его слова достаточно, чтобы разделение произошло. Он этого слова не произнес, а в пользу сохранения единого института однозначно высказалось Отделение общей физики и астрономии РАН в лице академика-секретаря А.А. Боярчука, как я потом узнал, не без консультации с Александром Михайловичем.

В начале двухтысячных годов время разбрасывания камней сменилось временем их собирать, и вопрос о разделе института отпал сам собой.

При полной поддержке Александра Михайловича были сформированы новая структура института и новый аппарат управления. Академики Ф.В. Бункин, В.В. Осико и сам Александр Михайлович стали руководителями научных центров – структурных подразделений, входящих в Институт общей физики. Руководителем Тарусского филиала института оставались В.А. Миляев, а директором центра научного приборостроения С.К. Вартапетов. В разное время в течение последующих лет заместителями директора института являлись В.П. Калинушкин, В.Г. Михалевич, А.П. Минеев, С.В. Гарнов, Д.Г. Кочиев, Ю.П. Гниппа. Главным инженером был назначен В.Б. Хаваев. Ученым секретарем института оставался Б.В. Ершов. Ответственным за международные связи института был М.Л. Лямшев. Начальником планово-финансового отдела осталась Зинаида Ефимовна Въялкова, которую сменила в этой должности Галина Константиновна Хныкова. В течение десяти лет место главного бухгалтера

занимала Г.М. Лактюшкина. Благодаря этим людям, представляющим единую команду, институт сохранил традиции и работоспособность, несмотря на перманентное реформирование академической науки: Не могу не выразить им свою глубокую благодарность и признательность за их самоотверженную работу.

## **Институт общей физики им. А.М. Прохорова без Прохорова**

Восьмого января 2002 года в возрасте 85 лет ушел из жизни Александр Михайлович, и история института оказалась разделенной на два периода: Институт общей физики с Прохоровым и Институт общей физики им. А.М. Прохорова без Прохорова.

К счастью, с начала нулевых годов обстановка в стране начала изменяться в лучшую сторону. Хаос девяностых был остановлен, в стране начал наводиться порядок. Эта тенденция коснулась и области научных исследований.

Существенными источниками финансирования ученых на конкурсной основе стали Российский научный фонд, основанный в 1991 году, и Российский фонд фундаментальных исследований, основанный в 1992 году. Кроме того, начала появляться заинтересованность различных организаций, в частности организаций ВПК, в результатах фундаментальных исследований, сохранившихся в институтах РАН.

Институт общей физики, в значительной степени усилиями А.М. Прохорова сохранивший свой научный потенциал, успешно воспользовался всеми этими возможностями.

К чему пришел институт к середине нулевых годов?

Общий объем финансирования с 2000 по 2005 год вырос со 111 до 368 млн. рублей. В 2005 г. базовое бюджетное финансирование составляло 91,2 млн. рублей, а внебазовое 279,8 млн. рублей. В 2005 г. внебазовое финансирование включало 120 проектов Российского фонда фундаментальных исследований, 19 проектов Министерства образования и науки РФ, 130 договоров с разными

отечественными организациями, 14 грантов Международного научно-технического центра (МНТЦ), 3 гранта Американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF).

В рамках двусторонних и межакадемических соглашений осуществлялось сотрудничество с исследовательскими организациями из 15 стран мира. Были созданы совместные лаборатории с научными учреждениями Канады, Италии, Германии и Франции. Ежегодно Институт посещали до трехсот зарубежных ученых и специалистов.

В 2007 году в Институте работало 1030 человек, из них научных сотрудников 508, докторов наук 122, кандидатов наук 281, аспирантов 48. Действовало три докторских диссертационных совета по специальностям «радиофизика», «акустика», «лазерная физика», «физика конденсированного состояния», «теоретическая физика», «физика плазмы», «оптика», «технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Начиная с 2000 и по 2007 год в институте защищено 56 кандидатских и 38 докторских диссертаций.

При институте работали шесть базовых кафедр ведущих вузов страны: четыре кафедры Московского физико-технического института, кафедра Московского института радиотехники, электроники и автоматики и кафедра Московского химико-технического института.

С 2000 по 2007 год сотрудниками института опубликовано 24 монографии. За 2005 год опубликовано 950 работ, из них 311 в зарубежных изданиях.

По данным редколлегии журнала «Квантовая электроника» институт являлся основным «поставщиком» статей: в 2004 и 2005 гг. сотрудниками института опубликовано в этом журнале 50 и 35 статей соответственно.

Институт организовывал ежегодные международные конференции «Advanced Laser Technologies», International Laser Physics Workshop», Звенигородскую конференцию по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу.

Кроме того, институт является одним из организаторов международной конференции по квантовой электронике (International Quantum Electronics Conference) Laser, Application and Technologies, IQEC/LAT.

К этому времени Постановлением Президиума РАН были установлены основные направления фундаментальных исследований института: физика конденсированных сред, оптика и лазерная физика, радиофизика и электроника, акустика, физика плазмы. Более детальная расшифровка этих направлений состояла из 27 наименований, которые включали в себя практически все современные области исследований названных научных направлений.

Наравне с развитием традиционных направлений в Институте возникали и новые, не входящие в перечень Постановления Президиума. Так, по инициативе С.В. Гарнова, тогда заведующего отделом колебаний, в последствие члена-корреспондента РАН и с 2018 года директора ИОФАН, начали активно развиваться лазерные методы генерации мегавольтных терагерцовых импульсов. Согласно принятой в настоящее время классификации, излучение терагерцового диапазона ( $1 \text{ ТГц} = 10^{12} \text{ Гц}$ ) лежит в диапазоне длин волн от нескольких миллиметров до нескольких десятков микрометров (от нескольких сотен ТГц до нескольких десятков ПГц). Развитие этого направления в значительной степени обязано В.В. Букину – молодому сотруднику С.В. Гарнова, трагически погибшему в мае 2023 года.

Областями применения терагерцового излучения являлись микроволновая локация, позиционирование малоразмерных объектов, регистрация микроволновых изображений скрытых объектов, анализ лекарственных препаратов, обнаружение взрывчатых веществ и наркотиков. Разработка лазерных методов генерации импульсного и непрерывного ТГц-излучения позволила на практике реализовать эффективные, компактные приборы и устройства. Появились возможности получения высокоинтенсивных пико- и субпикосекундных терагерцовых импульсов с электрическими полями амплитудой более чем  $10^6 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ . Источники такого излучения представляют интерес для исследования различного рода нелинейных процессов и для применения в прикладных областях.

С.В. Гарновым с сотрудниками были созданы лазерные источники импульсного терагерцового излучения ультракороткой длительности, позволяющие получать рекордно высокую напряженность электрического поля более  $10^6 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ . В рамках этой работы для регистрации энергетических параметров ТГц-импульсов были разработаны, изготовлены и аттестованы высокочувствительные широкополосные (спектральный диапазон 0,1–3 ТГц) пироэлектрические датчики с линейным динамическим диапазоном более  $10^3$  и порогом обнаружения 1 нДж.

В Научном центре лазерных материалов и технологий (НЦЛМТ) А.А. Сироткиным на кристаллах смешанных ванадатов, технология которых была разработана А.И. Загуменным с сотрудниками, были созданы лазеры с диодной накачкой, обеспечивающую двухчастотную генерацию и работающие в комбинированном режиме — с одновременной модуляцией добротности и активной синхронизацией мод. Преобразование лазерного излучения в терагерцовый спектральный диапазон осуществлялось методом генерации разностной частоты в нелинейных кристаллах GaP и GaSe.

В частности, было получено двухчастотное излучение с расстоянием между длинами волн 2,3 и 3,8 нм, что соответствовало генерируемому терагерцовому излучению с частотами 0,56 и 0,92 ТГц.

Работы в области терагерцового излучения получили дальнейшее развитие. Были разработаны оригинальные фотопроводящие антенны — источники и детекторы ТГц-импульсов на основе полупроводниковых материалов группы  $A^{III}B^V$ . Создан лабораторный импульсный терагерцовый спектрометр, оснащенный вакуумной измерительной камерой и предназначенный для исследования электродинамического отклика объектов различной природы в широком диапазоне частот (0,1–4,0 ТГц) и температур.

Предложена и реализована схема по визуализации фазовых объектов в терагерцовой области частот в просвечивающей геометрии с применением широкоапертурного детектирующего электрооптического кристалла.

Разработан метод ТГц-микроскопии на основе эффекта твердотельной иммерсии, обеспечивающий разрешения до  $0,15 \lambda$  и позволяющий изучать

образцы мягких биологических тканей. То есть преодолен дифракционный предел Аббе  $\sim 0,5 \lambda$ .

Реализован метод генерации терагерцового излучения за счет оптического пробоя газовых сред лазерным излучением ультракороткой длительности. Продемонстрировано наличие ТГц-излучения, которое распространяется из лазерной плазмы в направлении, противоположном направлению лазерного излучения.

В Центре естественно-научных исследований совместно с НИЦ «Курчатовский институт» и Харбинским технологическим институтом успешно развивались работы в области синтеза синтетических алмазов. В СВЧ-плазменном реакторе в смеси метан-водород синтезированы монокристаллы алмаза с небольшим содержанием примесного азота и рекордно высокой величиной теплопроводности  $24,0 \pm 0,5$  Вт/см·К при комнатной температуре. Измеренная при температурах более 150 К теплопроводность синтезированных кристаллов оказалась выше, чем для более чистых образцов алмазов. Полученный материал с высокой теплопроводностью востребован в качестве теплоотводящих подложек в магнитных диодов, транзисторов и др.

Сотрудниками Центра совместно с МИРЭА и ИРЭ РАН создан новый композитный материал алмаз-германий, обладающий прозрачностью в ИК-диапазоне, прочностью и высокой теплопроводностью. Процесс синтеза основан на соосаждении кристаллов и германия в микроволновой плазме в газовых смесях водород-метан-германий. Разработанная технология позволяет регулировать коэффициент теплового расширения композита КТР, приблизить его величину к значениям КТР для полупроводников и, тем самым, ослабить уровень механических напряжений в структурах полупроводник-алмазная подложка в электронных приборах.

Совместно с МФТИ, МИФИ, ИБХ РАН, НТУ «Сириус», РНИМУ в Центре разработан ультрачувствительный метод неинвазивного дистанционного мониторинга биодеградации медицинских нанообъектов с магнитными ядрами в живом организме. Показано, что покрытие частиц слоем полистирола замедляет время деградации частиц с 40 дней до 1 года. Полученные результаты

представляют интерес для разработки функциональных биodeградируемых медицинских нанопрепаратов с безопасной и предсказуемой долгосрочной фармакокинетикой и будут способствовать внедрению разных типов наночастиц в клиническую практику.

Группой В.Б. Лощенова совместно с МГМУ им. Сеченова разработана флуоресцентная видеосистема для диагностики новообразований. Приборный комплекс позволяет осуществлять флуоресцентную визуализацию с оцифровкой доз и интенсивностей лазерного излучения, рассеянного света и флуоресценции новообразований в различных органах человека. Система определяет области максимального накопления фотосенсибилизатора с количественной оценкой накопления по сравнению со здоровыми тканями и тем самым информирует о злокачественности новообразований. Полученные результаты измерений позволяют определить границы новообразований и контролировать эффективность процедуры фотодинамического воздействия за счет фотообесцвечивания фотосенсибилизатора в тканях. Приборный комплекс обеспечивает проведение флуоресцентной диагностики и фотодинамической терапии как поверхностных новообразований, так и внутренних органов. Сотни пациентов были вылечены или существенно продлили безрецидивный срок жизни.

Совместно с МФТИ разработан ультрачувствительный способ измерений концентрации молекул РНК/ДНК на основе комбинации наночастиц золота и одноцепочечных молекул ДНК. Достигнута рекордная чувствительность вплоть до концентрации ДНК 30 фмоль в чрезвычайно малом объеме 20 мкл и быстром (15 мин), простом иммунохроматографическом анализе, который можно проводить даже в полевых условиях. Достигнутый предел обнаружения находится на уровне  $3 \cdot 10^{15}$  молекул ДНК в капле крови.

В Центре лазерных материалов и технологий А.И. Загуменным с сотрудниками совместно с ФИАН и «Гиредмет» разработана технология выращивания сцинтилляционных кристаллов на основе стехиометрической композиции редкоземельного оксиортосиликата  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  больших размеров. Была введена в эксплуатацию промышленная установка, позволяющая выращивать



кристаллы весом до 5 кг, обладающих рекордной радиационной стойкостью. Применение созданных сцинтилляционных кристаллов позволяют минимизировать дозу облучения, получаемую пациентом при томографическом обследовании. Получены патенты Российской Федерации и Соединенных Штатов Америки.

Получил дальнейшее развитие ранее предложенный В.В. Осико метод прямого высокочастотного плавления в холодном контейнере для получения высокотемпературных особопрочных и износостойких конструкционных материалов. Руководителем этих работ стала ученица В.В. Осико Е.Е. Ломонова. Под ее руководством была разработана технология кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ). Проведенные совместно с ИМНИ РАН исследования трибологических и механических характеристик этого материала выявили уникальное сочетание высоких механических характеристик, низкой интенсивности изнашивания, химической и биологической инертности. Это открывает большие перспективы применения кристаллов ЧСЦ в различных областях техники, в частности, при разработки оборудования, предназначенного для эксплуатации в экстремальных условиях высоких механических нагрузок, в химически агрессивных средах, при повышенных температурах. Кристаллы ЧСЦ перспективны для производства высокоточных режущих инструментов, в том числе для малотравматического хирургического и электрохирургического инструмента с острой режущей кромкой (~100 нм). Электрохирургический инструмент с режущими элементами из кристаллов ЧСЦ был разработан и внедрен в производство группой Ю.К. Данилейко.

Сотрудниками Центра разработана керамика со структурой граната (YSAG) с активными ионами  $\text{Yb}^{3+}$ . На ее основе создан лазер с длиной волны генерации 1031 нм. В непрерывном режиме генерации достигнут дифференциальный КПД 42% и 57% в квазинепрерывном.

Группой Б.И. Денкера совместно с Центром волоконной оптики, ФИАН и ИХВВ созданы объемные волоконные лазеры среднего ИК-диапазона на основе активизированных редкоземельными ионами халькогенидных стекол. Генерация осуществлялась на переходах ионов  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ , которые никогда ранее не

были задействованы для получения лазерного эффекта. Длины волн генерации лазеров, работающих при комнатной температуре, соответствовали диапазону 4,5–6 мкм. Ранее считалось, что полученные генерации лазерами на твердом теле при комнатной температуре с длинами волн более 3 мкм невозможно из-за сильного электрон-фононного взаимодействия и, как следствие, низкого квантового выхода люминесценции.

В.Б. Цветковым с сотрудниками разработана гольмиевая волоконная лазерная система ультракоротких импульсов, позволяющая прецизионно воздействовать на биологические ткани с минимальным тепловым повреждением. Данная лазерная система представляет интерес для прецизионной хирургии. Развита предложенная ранее концепция оптически плотных лазерных сред. Получили развитие работы в области технологии нелинейных лазерных кристаллов, проводимые под руководством Л.И. Ивлевой. Синтезированные этой группой кристаллы нашли свое применение не только в институте, но и в других организациях.

В отделе экологических и медицинских приборов получили развитие работы С.Н. Котельникова и Е.В. Степанова в области мониторинга окружающей среды. Непрерывный мониторинг приземного озона в течение с 2008 по 2018 г. в равнинном районе Российской Федерации (юг Кировской области) позволил продемонстрировать рост содержания озона, обусловленный изменениями глобального климата. Полученные данные используются для исследования временных и пространственных вариаций тропосферного озона и его прекурсоров, а также для изучения воздействия повышенных концентраций тропосферного озона на человека и экосистемы.

Летом 2021 года наблюдалось рекордно высокие концентрации приземного озона в атмосфере Москвы, что было обусловлено уникальным сочетанием блокирующего антициклона с высокими дневными температурами (более 30°C) и условиями штиля. Отсутствие интенсивного переноса воздушных масс привело к накоплению в атмосфере мегаполиса прекурсоров озона ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$ ) и его интенсивному фотохимическому образованию в приземной атмосфере. Из-за высокой токсичности озона рост его содержания в приземной атмосфере негативно влияет на здоровье населения и состояние окружающей среды.

И.А. Веселовским и М.Ю. Керенским, сотрудниками Центра физического приборостроения, совместно с университетами Лилля (Франция) и Сан-Паулу (Бразилия) измерен профиль фонового содержания метана в тропосфере с использованием лидара комбинационного рассеяния до высоты 4 км с точностью на уровне 0,2 ppm. Метан является вторым по важности парниковым газом антропогенного происхождения, содержание которого в атмосфере быстро растет.

Этой же группой разработана лидарная система с дополнительным флуоресцентным каналом на длине волны 466 нм с шириной 40 нм для детектирования слоев дыма от лесных пожаров на высотах до 12 км. Реализованный метод обработки результатов с использованием диаграммы.

Флуоресценция–деполяризация позволяет идентифицировать основные типы аэрозоля (пыль, дым, промышленный аэрозоль, растительная пыльца) с высоким пространственным и временным разрешением (7,5 м и 2 мин соответственно).

Остаются актуальными работы в области физики лазеров. В качестве активных сред твердотельных лазеров начала применяться оптическая керамика, преимуществами которой являются возможности достижения высокой концентрации активных ионов, высокой однородности легирования, возможности изготовления образцов с большой апертурой.

В Центре волоконной оптике совместно с ИХВВ РАН продолжено развитие пионерских работ по разработке висмутовых волоконных световодов. Созданы висмутовые волоконные световоды и широкополосные усилители со спектральным уплотнением каналов для увеличения скорости передачи информации по оптическим сетям связи. Достигнута полоса усиления, превышающая 370 нм. Проведено тестирование скорости передачи сигнала в диапазоне от 1270 до 1460 нм на скоростях от 10 до 20 Гбит/с на один оптический канал. За счет спектрального уплотнения количество каналов может составлять ~2 на каждый нанометр спектра. Т.е. при задействовании всего спектрального диапазона висмутовых усилителей число каналов может превышать 700 шт.

Совместно с ИСАН развита концепция газовых волоконных лазеров, разрабатываемых на основе световодов с поллой сердцевиной, заполненной различными газами. Создан субпикосекундный газовый волоконный лазер среднего ИК-диапазона. В качестве активной среды использовался револьверный волоконный световод, заполненный дейтерием. Реализовано эффективное двухкаскадное романовское преобразование  $1,03 \rightarrow 1,49 \rightarrow 2,68$  мкм при накачке чирпированными импульсами фемтосекундного иттербиевого лазера. Получена генерация на длине волны 2,68 мкм с энергией в импульсе  $\sim 10$  мкДж, что на два порядка превосходило аналогичные характеристики любых других субпикосекундных волоконных лазеров среднего ИК-диапазона. Длительность выходных импульсов составила 920 фс, квантовая эффективность преобразования составила 28%. Была также экспериментально продемонстрирована генерация пикосекундных импульсов на длине волны 3,9 мкм, а также генерация суперконтинуума в спектральном диапазоне 0,65–3,3 мкм.

В Научном центре волновых исследований группой С.М. Першина разработан нелинейно-оптический конвертор лазерного излучения с помощью вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) и вынужденного рассеяния Мандельштама–Бриллюэна (ВРМБ). Показано, что при фокусировке накачки на поверхность конденсированной среды достигается многократное (до 30 раз) снижение порога генерации ВКР в жидком азоте, воде и тяжелой воде, что позволяет создавать источники когерентного излучения в новых частотных диапазонах.

В лаборатории А.Ф. Бункина развита нелинейная спектроскопия четырехфотонного низкочастотного комбинационного рассеяния, с помощью которой, в частности, осуществлена диагностика локального временного профиля ультразвукового пучка в воде. На основе этого метода была создана аппаратура, позволяющая регистрировать слабые колебательные резонансы молекул в спектральном диапазоне  $0\text{--}800$  см<sup>-1</sup> с разрешением  $0,1$  см<sup>-1</sup>. Были обнаружены резонансы свободных вращений молекул воды, а также пероксида водорода в жидкой фазе при комнатной температуре.

Развитый метод вынужденного низкочастотного рассеяния лазерного излучения позволяет изучить спектры собственных низкочастотных

(акустических) колебаний вирусов или фрагментов в диапазоне 0–60 Гц с разрешением  $0,005 \text{ см}^{-1}$ .

В Институте получили развитие область биофизики и применение физических методов в медицине.

В Центре биофотоники С.В. Гудковым с сотрудниками разработан термостимулированный многоволновой интерферометр для изучения изменения конформаций биологических молекул. Достигнуты рекордные точности в измерениях показателя преломления. В установке реализована возможность измерения оптической плотности растворов и показателя преломления в УФ- и видимом диапазонах и получения информации об основных оптических свойствах раствора.

В последнее время делаются выводы об уменьшении доли фундаментальных исследований в пользу исследований прикладных. Также имеют место высказывания и об исследованиях, проводимых в ИОФ РАНе. Александр Михайлович Прохоров не проводил границ между фундаментальными и прикладными исследованиями. Фундаментом прикладных исследований являются исследования фундаментальные. Если в институте могут успешно проходить исследования прикладные, значит, у них есть соответствующий фундамент.

Фундаментальные работы группы В.В. Смирнова в области взаимодействия излучения с веществом и нелинейно-оптических явлений методом КАРС позволили разработать бесконтактные лазерно-оптические методы диагностики процессов воспламенения и горения. Разработанная аппаратура позволяет проводить измерения полей температуры (до 4000 К) в реагирующих потоках при уникально высоком пространственном (область  $10^{-6} \text{ см}^3$ ) и временном ( $10^{-8} \text{ с}$ ) разрешениях.

Эта аппаратура была использована в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с ЦИАМ при разработке перспективных авиационных двигателей. Методы оптической диагностики газовых сред были адаптированы для измерений в пламенах и до- и сверхзвуковых потоках, реализующихся в трактах разрабатываемых газотурбинных двигателей.

В результате был предложен способ воспламенения горючих смесей, основанный на фотодиссоциации молекул кислорода под воздействием лазерного УФ-излучения. Получаемые в процессе диссоциации атомы кислорода более эффективно инициируют цепные реакции воспламенения и горения, повышая устойчивость процесса воспламенения. Это позволяет увеличить протяженность и объем зоны воспламенения в камере сгорания, увеличить скорость горения, что особенно важно в сверхзвуковых и гиперзвуковых устройствах.

Также совместно с ЦИАМ проводились исследования диффузионного горения композитных топлив с добавлением наночастиц алюминия и бора. Установлено, что добавка таких наночастиц в концентрациях ~0,5% приводит к повышению температуры топливной струи и скорости горения.

В различных подразделениях института ведется работы в области физики жидкостей. Так группой В.К. Конюхова экспериментально была продемонстрирована возможность сдвига равновесия соотношения концентраций орто- и пара-молекул воды за счет различной степени взаимодействия этих молекул с поверхностью твердого тела.

В фармакологии при приготовлении лекарственных препаратов иногда используется методика многократных разведений. При этом зачастую разведения столь высоки, что в готовых лекарственных препаратах более не остается ни одной молекулы исходного вещества. Тем не менее, по утверждению медиков, такие препараты оказывают лечебное воздействие. Этот парадокс активно и часто нелицеприятно обсуждался в печати, например в Бюллетене «В защиту науки» № 21 и № 22 за 2018, 2019 гг.

По целому ряду причин меня заинтересовала эта проблема. В частности, меня попросили ею заняться в то время Президент РАН А.М. Сергеев.

Вследствие этого в ИОФАНе была организована неформальная группа, в которую вошли группы В.И. Пустового и С.В. Гудкова, теоретическую поддержку осуществляли Г.А. Ляхов, Н.В. Суязов и сотрудник ФИАН В.И. Манько. Изначально было договорено, что мы никак не касаемся медицинских аспектов проблемы, а исследуем только физику процессов разбавления растворов. Предметом острых дискуссий была интерпретация результатов многократного разбавления водных растворов. Критика исходила из

того, что сколь угодно большое количество разбавлений водного раствора «чистой водой» приводит к уменьшению концентрации примеси в разбавляемом растворе до сколь угодно малых величин, никоим образом не могущих повлиять на какие-либо свойства раствора.

Ранее группой академика А.И. Коновалова был поставлен широкий комплекс экспериментов по исследованию многократных разбавлений и получен обширный экспериментальный материал. Была сделана попытка интерпретации полученных результатов. Эта интерпретация предполагала, что при уменьшении концентрации ниже некоторого предела образуется новое состояние вещества, в котором бесконечно малые содержания и, соответственно, не обнаруживаемые примеси, могут изменять макроскопические характеристики водного раствора. Неприятие такой интерпретации было естественным и ожидаемым, но и ее критика не была конструктивной.

Нашей группой был экспериментально установлен ставший вполне очевидным факт, заключающийся в том, что концентрация примеси в разбавляемом растворе не может быть меньше, чем в растворителе. То есть, начиная с некоторого числа разбавлений, концентрация перестает зависеть от числа разбавлений. Возможность регистрации выхода на «плато», соответствующего концентрации примеси в растворителе, определяется чувствительностью измерительной аппаратуры. Экспериментально на нескольких примерах показано, что эффект нарушения линейности и выход на плато носит достаточно общий характер.

Дальнейшие исследования продемонстрировали, что сделанное утверждение касается не только выравнивания концентраций примесей растворителя и растворяемого вещества. Оно более общее и может быть сформулировано следующим образом. При достижении определенного числа разбавлений физико-химические свойства растворителя и растворяемого раствора выравниваются и дальнейшие разбавления никак не влияют на свойства водного раствора. Это является следствием того, что воды как совокупности молекул  $H_2O$  в природе не существует. Существует некая неравновесная субстанция, в которую наравне с молекулами  $H_2O$  входят молекулы активных

форм кислорода и другие примеси, которые в значительной степени определяют свойства ВОДНОГО РАСТВОРА. При проведении дальнейших экспериментов по многократным разбавлениям был обнаружен ряд новых эффектов. В частности, оказалось, что механическое воздействие (тряска, вибрация) на раствор в процессе разбавлений приводит к росту концентрации пероксида водорода и изменению концентраций других активных форм кислорода. При этом биологическая активность раствора может изменяться. Аналогичные результаты были получены группой исследователей из Кембриджского университета. Сделано предположение, что во время дождя состав дождевых капель может изменяться за счет ударов капель о твердые предметы, что может сказываться на экологической обстановке.

Группой Г.А. Шафеева проводились эксперименты по влиянию лазерного излучения на растворы, в том числе и на растворы, обладающие радиоактивностью. Так же как и в случае механического воздействия, лазерное излучение существенным образом влияет на трансформацию свойства исследованных объектов.

В 2019 году по инициативе нашей группы под эгидой ИОФ РАН и Отделения физических наук РАН была организована всесоюзная конференция «Физика водных растворов», привлекавшая около двухсот участников. С тех пор эта конференция стала ежегодной. В 2023 году конференция «Физика водных растворов» проводится в шестой раз.

В течение реформ был введен строгий возрастной ценз на должность директора, и в 2018 году я этот пост оставил. Выбранным по новым правилам директором стал член-корреспондент РАН Сергей Владимирович Гарнов, чью кандидатуру я поддерживал и поддерживаю сейчас.

Одна из основных проблем, пришедших как в РАН, так и в институты, находящихся под ее научно-методическим руководством, за последние 25–30 лет – это катастрофическое старение научных сотрудников. В ИОФАНе по инициативе С.В. Гарнова был принят целый ряд энергичных мер для решения этой проблемы. Так, на 1 января 2023 года численность сотрудников в возрасте до 39 лет включительно составила 223 человека (36,8% от численности исследователей).



Сегодня в ИОФ РАН 51 аспирант и 53 студента, выполняющих выпускные квалификационные работы.

В 2018 году (приказ ИОФ РАН от 27.12.2018 года № 311) была создана молодежная лаборатория «Фотоника: квантовые материалы и технологии». В лаборатории 19 сотрудников, из них 18 в возрасте до 39 лет. За 2019–2022 годы сотрудники лаборатории опубликовали в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus 89 научных работ, защищено 11 кандидатских диссертаций.

Тематика исследований молодежной лаборатории – междисциплинарные дисциплины на стыке фотоники, физического материаловедения и нанотехнологий, включающих в себя создание и оптимизацию волоконных и гибридных лазерных систем с применением новых материалов и структур, исследование режимов генерации ультракоротких лазерных импульсов пико- и фемтосекундного диапазонов, широкополосного лазерного излучения (суперконтинуума), изучение новых источников и элементов оптики терагерцового и СВЧ-диапазонов, создание алмазных композитов, наноалмазов и углеродных наноматериалов.

Общая структура Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» на 01.01.2023 включает в себя 3 филиала: Научный центр волновых исследований, Центр физического приборостроения и Тарусский филиал;

1 обособленное подразделение: Научный центр волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН;

5 научных центров: Научный центр лазерных материалов и технологий, Центр естественно-научных исследований, Центр биофотоники, Научный центр мирового уровня «Центр фотоники ИОФ РАН», Научно-образовательный центр, а также 17 научно-исследовательских отделов, в состав которых входят 67 научных лабораторий, и научно-издательский информационный отдел, заведующей которого является Татьяна Борисовна Воляк.

В значительной степени благодаря её усилиям в Институте успешно развивалась издательская деятельность. Подготовлено и опубликовано несколько

монографий сотрудников института, среди которых книга А.М. Прохорова «Квантовая электроника», «Избранные труды» Ф.В. Бункина, сборник «Начало лазерной эры» к 50-летию открытия лазеров, «Углеродная фотоника» под редакцией В.И. Конова, а также институтские рекламные буклеты. С 1986 года Т.Б. Воляк является заместителем главного редактора Трудов ИОФАН. К настоящему моменту опубликовано 74 тома этого издания. С 1993 года Татьяна Борисовна – заместитель главного редактора международного научного журнала *Physics of Wave Phenomena*.

## **Заключение**

В течение последних более тридцати лет управление наукой и, в частности, РАН подвергались перманентному реформированию. В новых условиях, в условиях катастрофического недофинансирования фундаментальной науки, финансирование широкого фронта исследований стало невозможным. Возникла установка направлять средства на наиболее прорывные направления. В девяностые и нулевые годы были предприняты попытки проведения реформ внутри Академии. Президиумом РАН было уменьшено число профильных отделений, изменены функционалы вице-президентов и т.п. Эти реформы в значительной степени носили косметический характер и не решали и не могли решить финансовых проблем. Существенным источником финансирования институтов оставалась аренда помещений организациям, никакого отношения к науке не имеющим. Мера была вынужденная и представляющая возможность криминальной составляющей.

К началу 2010-х годов практически без обсуждения с учеными была подготовлена реформа РАН сверху.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 27 сентября 2013 года № 735 было создано Федеральное агентство научных организаций (ФАНО).

К РАН были присоединены Академии медицинских и сельскохозяйственных наук в качестве отделений РАН, а институты, являющиеся неотъемлемой частью как РАН, так и присоединившихся академий, были фактически полностью отделены от Академии и подчинены ФАНО. Идея образования ФАНО казалась оправданной: а именно, избавить ученых от административной деятельности, чтобы они полностью сосредоточились на научной. РАН принадлежало большое число непрофильных объектов, учет которых был запущен. ФАНО успешно провело инвентаризацию этих объектов. В дальнейшем деятельность ФАНО этим не ограничилось. Оно начало строго контролировать любую деятельность научных организаций, в том числе и научную, не обладая при этом необходимыми квалификацией и опытом. Начались кампания по слиянию институтов различного профиля в научные центры, активное вмешательство в кадровую политику РАН, формальная оценка результатов научных исследований. Формулировка о том, что отделения РАН осуществляют научно-методическое руководство институтами никакого конкретного смысла под собой не имела.

В результате Указом Президента Российской Федерации от 15 мая 2018 года за № 215 ФАНО было упразднено, а его функции по нормативно-правовому регулированию и оказанию государственных услуг в соответствующий сфере деятельности, а также функции по управлению имуществом переданы Министерству науки и высшего образования Российской Федерации. Передача функций ФАНО Министерству не принесло ожидаемых результатов.

Основным функционалом Академии, как при ФАНО, так и осталась при Министерстве, была экспертная деятельность, да и та контролировалась и корректировалась Министерством.

Президиум РАН был завален экспертизами мелких, мало что значимых проектов, но практически не участвовал в экспертизе проектов государственного уровня.

В течение реформ было проведено разделение институтов на три категории. При этом институты, часто неоправданно попавшие в третью категорию, были обречены на медленное умирание. Категорийность определялась в значительной степени формально.

К счастью, ИОФАН попал в первую категорию, и у него осталась возможность дальнейшего развития.

Финансирование институтов и, в частности, зарплат научных сотрудников стало зависеть не просто от публикационной активности, а в значительной степени от того, в каком журнале опубликованы научные результаты. Все научные журналы разбиты на четыре категории – квартили. Была изобретена формула, по которой финансовая поддержка научного сотрудника, опубликовавшего работу в журнале первого квартиля, отличалось в 16 раз от оплаты сотрудников, опубликовавших результаты в журнале четвертого квартиля. Проблема состояла в том, что среди отечественных научных журналов по целому ряду причин практически не было журналов, относящихся к первому квартилю, и очень мало, относящихся ко второму. Естественно, что научные сотрудники и в том числе молодые, стали пытаться публиковаться в высокорейтинговых зарубежных журналах. Кроме того, по принятому положению получать за публикации дополнительное вознаграждение могли только научные сотрудники, а заведующие отделами и лабораториями, доктора и кандидаты наук, не попали в категорию научных сотрудников. Это создавало определенную напряженность внутри научных коллективов<sup>2</sup>. Следует также заметить, что РАН по принятому законодательству не является научной организацией, и в ее функции занятия научными исследованиями не входят. Такая политика привела к катастрофическому состоянию отечественной научной литературы. В настоящее время эта ситуация только усугубилась. Министерством науки и высшего образования были сделаны заявления о целесообразности отмены как категоричности институтов, так и оценки публикационной активности по квартильному принципу. Однако никаких конкретных действий, давших конкретный результат, пока не принято. Президиум нового состава, избранный в 2022 году, предпринимает попытки решить эти проблемы, но пока результатов нет. Как под управлением ФАНО, так и под управлением Министерства науки и высшего образования институты, находящиеся под научно-методическим руководством РАН, выживали при непрерывном

---

<sup>2</sup> В настоящее время эта ситуация в некоторой степени скорректирована. Институтам предоставлена возможность коррекции коэффициентов, определяющих различие в дополнительной оплате авторам за публикации материалов в журналах различных квартилей.

привыкании к жизни в новых условиях, отличающихся, в частности, чудовищной бюрократизированностью, что никак не шло на пользу научным исследованиям.

В течение периода реформ имел место волнообразный и достаточно массовый отъезд ученых, включая молодых, за рубеж. Эта тенденция коснулась и ИОФАН, правда, в значительно меньшей степени. В большинстве случаев сотрудники выезжали на временную работу и через некоторый промежуток времени возвращались в родные пенаты. Большинство уехавших и на длительные сроки не теряли связи с Институтом. Существует тезис о том, что уехали лучшие и уехали навсегда. Я с этим тезисом категорически не согласен. Понятие «лучший», по-моему, включает не только высокий профессиональный уровень, но и понимание необходимости выполнения своего долга и своих обязательств перед учителями и коллегами, понимание того, что сегодня научные результаты являются результатами коллективного труда и их нельзя присваивать единолично и делиться ими с кем угодно по своему усмотрению. Из этого интегрального понятия «лучший» следует, что лучшие как раз и остались дома и именно им отечественная наука обязана своему сохранению.

За время пребывания в должности директора ИОФАН с 1998 по 2018 год я все силы тратил на то, чтобы сохранить научный потенциал Института, традиции, заложенные великим ученым и великим гражданином нашей родины Александром Михайловичем Прохоровым. Насколько мне это удалось судить не мне.

Объять в полном объеме полученные коллективом института результаты даже за определенный промежуток времени не представляется возможным. Выбор представленных результатов, безусловно, субъективен. Поэтому я заранее приношу свои извинения сотрудникам, чьи результаты могут представлять интерес, но не нашли места в представленной работе.

В заключении выражаю свою благодарность Т.Б. Воляк и Л.Б. Малыгиной за помощь в оформлении рукописи, а также всем сотрудникам института, представившим вошедшие в работу материалы и сделавшим ценные замечания по тексту.