



**Директор Физико-технического института
имени А. Ф. Иоффе РАН член-корреспондент РАН
Сергей Викторович Иванов**

«Если что-то делаешь — делай так, чтобы это было лучшее в мире»

История Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН насчитывает уже более столетия. Чем сегодня живет Физтех Иоффе, какие новые открытия совершаются и как они влияют на повседневную жизнь — об этом наш разговор с директором ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН членом-корреспондентом РАН, профессором, доктором физико-математических наук С. В. Ивановым.

— Сергей Викторович, каков диапазон научных направлений, в рамках которых проводят исследования ученые возглавляемого вами академического института?

— Это ключевой вопрос для любого института. Наш институт — среди четырех самых крупных физических институтов РАН в стране, таких как Физический институт им. П. Н. Лебедева (ФИАН) и Институт ядерных исследований (ИЯИ) в Москве, Институт ядерной физики СО РАН им. Г. И. Будкера в Новосибирске, но он является старейшим из них, основанным более 105 лет назад. Ленинградский Физтех изначально создавался его первым директором Абрамом Фёдоровичем Иоффе как комплексный научно-исследовательский центр. (Фото 1)

В российском научном классификаторе по физике выделяется семь направлений и 49 разделов. Это атомная физика, ядерная физика, физика твердого тела, лазерная физика и ряд других. Согласно последним данным статистики, в рамках программы фундаментальных научных исследований ФТИ им. А. Ф. Иоффе — это единственная в нашей стране научная организация, занимающаяся исследованиями во всех семи направлениях физики, охватывая своими работами в рамках государственного задания 34 раздела из 49 (70%). Мы уступаем по количеству научных тем в составе этих разделов только МГУ им. М. В. Ломоносова, занимая в этом плане почетное второе место.

Отмечу, что не только физика сейчас является сферой деятельности наших сотрудников: мы сформировали достаточно мощную физико-химическую группу — порядка семи лабораторий, из которых четыре молодежные лаборатории. В том, что наш институт сейчас активно развивает физико-химическое на-

правление, нет ничего удивительного: основатель химической физики, лауреат Нобелевской премии академик АН СССР Н. Н. Семёнов, до того как в 1931 году возглавил Институт химической физики, в 1934 году переведенный в Москву, работал именно в Ленинградском Физико-техническом институте (ныне ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН), где возглавлял физико-химический отдел. Поэтому можно сказать, что Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН сформировался в недрах нашего Физтеха. Мы уже 2 года назад получили возможность обучать аспирантов по физико-химическим специальностям, а в этом году — право сформировать диссертационный совет по химии твердого тела — пятый в нашем институте диссертационный совет с правом самостоятельного присуждения ученых степеней кандидата и доктора наук.

Мы с разных сторон заходим и в биологию, главным образом в интересах медицины, что связано с использованием тонких



Фото 1

физических методов для исследования различных процессов в живых клетках, а также с применением оптоэлектронных приборов для диагностики, лазерной терапии и т. д.

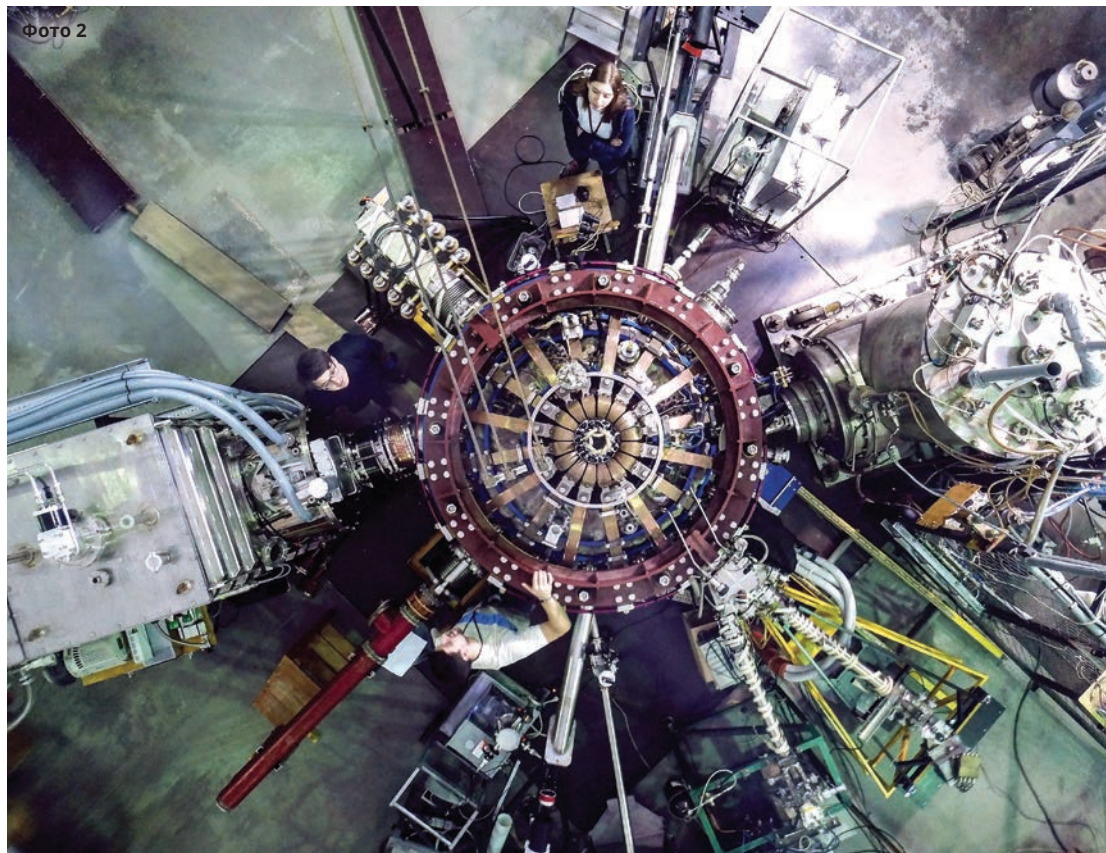
Если говорить уже о физике более конкретно, то здесь очень широкий диапазон областей исследования — от астрофизики (изучение крупнейших, наиболее мощных в плане выделяемой энергии и магнитного поля астрофизических объектов, таких как черные дыры, нейтронные звезды и др.), управляемого термоядерного синтеза (УТС) — логичного продолжения исследований института в области атомного ядра, из которых в 1943 году стартовал советский Атомный проект, до нанотехнологий, включающих полупроводниковые, керамические и углеродные нанотехнологии с размерами структур и проходящими в них процессами на нанометровых и даже субнанометровых масштабах.

Главный упор по традиции делаем на физику твердого тела и полупроводниковую электронику, где и проводится основной объем исследований: разработка полупроводниковых гетероструктурных нанотехнологий в области фотоники и энергетики. Проводим также исследования, результаты которых имеют определяющее значение для развития СВЧ-электроники и магнитооптики, создания силовых электрических коммутаторов, производства высокомощных литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов, а также систем накопления энергии на их основе.

В ФТИ им. А. Ф. Иоффе есть все: от сильнейших теоретических школ в различных направлениях физики до довольно сильной экспериментальной базы, складывавшейся годами. Благодаря общим усилиям, в том числе со стороны Министерства науки и высшего образования РФ, госкорпораций, Правительства РФ, за последние годы наша экспериментальная база значительно обновилась. Как я уже говорил, мы разрабатываем технологии, проводим НИОКРы: наш институт не только крупнейший центр физической науки, но и один из ведущих в стране и мире технологических центров.

— Существуют ли приоритетные для ФТИ им. А. Ф. Иоффе направления деятельности или каждое направление в одинаковой степени актуально и значимо для института?

— Конечно, не может не быть приоритетных направлений, наиболее актуальных и наиболее востребованных или имеющих мощные школы, сохранившиеся, выжившие в период перестройки. Такие направления у нас есть. Как я уже упоминал, это исследования в области УТС — одно из важных направлений, которое приносит существенное внебюджетное финансирование нашему институту и в котором задействовано около 150 человек из примерно 900 научных сотрудников. УТС связан с задачей достижения сверхкритических режимов, т.е. нагрева высокотемпературной водородно-дейтериевой



плазмы до температур, при которых начинаются реакции термоядерного синтеза — порядка 100 млн градусов Цельсия, т.е. порог, за которым начинает выделяться огромная энергия. Для достижения этого нужны определенные экспериментальные и теоретические исследования, приводящие к разработке новых методов генерации тока плазмы (не магнитоиндукционных), методов ее разогрева: это накачка высокочастотным излучением, микроволновое воздействие, как, например, ионный циклотронный резонанс, использование высокоэнергетичных пучков — другими словами, всех методов, способствующих повышению ионной температуры. Данный процесс горения плазмы, конечно, очень важно правильно диагностировать: т.е. держать под контролем и сам процесс горения, его стабильность, ионный состав и обеспечивать ее безопасное долгое удержание.

В нашем случае основные исследования проводятся на достаточно компактном термоядерном реакторе — сферическом токамаке «Глобус-М2» (диаметром 76 см), в котором помимо области основного кольцевого шнура плазмы существуют области, где плазма выходит на стенки, называемые диверторами. В этих критических местах реактора очень важно тщательно контролировать изменения температуры плазмы, интенсивности потоков заряженных частиц, чтобы не произошло аварии. Важно, что разрабатываемые в ФТИ методы нагрева плазмы и генерации тока, диагностики плазмы пригодны для использования и в других более крупных термоядерных реакторах, построенных или строящихся в нашей стране (в частности Т-15МД в НИЦ «Курчатовский институт», ТРТ в Троицке) и за рубежом — международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР, для которого ученые нашего института разрабатывают три критических метода диагностики процессов горения плазмы. Наверное, по комплексу охвата проблематики исследований УТС ФТИ им. А. Ф. Иоффе — сейчас лидер в нашей стране. (Фото 2)

Второе приоритетное для ФТИ направление — это, безусловно, полупроводниковая электроника — фотоника, и прежде всего то, что связано с открытием полупроводниковых гетероструктур на основе соединений элементов третьей и пятой групп (арсенид или нитрид галлия — GaAs, GaN, фосфид индия — InP), второй и шестой групп (селенид цинка — ZnSe), четвертой группы (карбид кремния — SiC) Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева с суммарной валентностью, равной 8.

Фотоника — это прежде всего разработка различных типов полупроводниковых лазеров от эпитаксиального роста гетероструктур до корпусированных лазерных микрочипов: мощные лазеры с торцевым выводом излучения (Нобелевская премия Ж. И. Алфёрова), вертикальные излучающие лазеры и квантовые каскадные лазеры, созданные в 1994 году в Bell Labs, а теоретически предсказанные учеными ФТИ Р. Ф. Казариновым и Р. А. Сурисом в 1971 году.

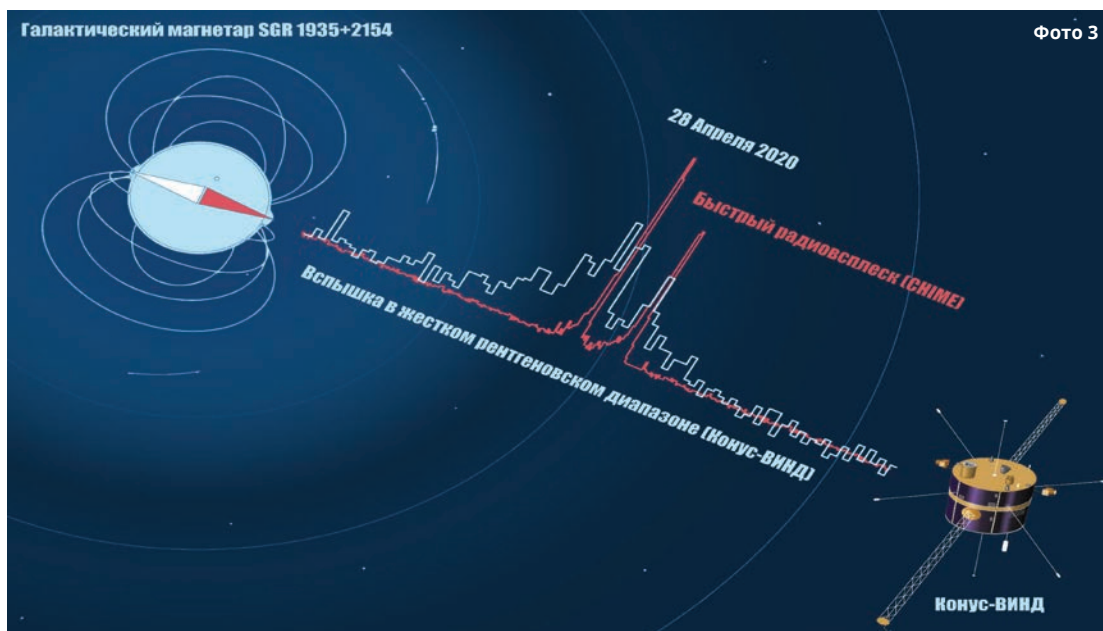
В ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН активно развиваются такие направления полупроводниковой электроники, как СВЧ-электроника на базе различных типов сверхбыстродействующих транзисторов АЗВ5, силовая электроника на основе Si и SiC.

Третье приоритетное и традиционное для нашего института направление, активно развивающееся в настоящее время, — энергетика. Конечно же, все помнят, что атомный проект зародился, сформировался и в итоге реализовался усилиями ученых под руководством академика И. В. Курчатова, начинавшего свою научную деятельность в данной области в стенах ФТИ АН СССР. Впоследствии, в 1943 году, И. В. Курчатов с несколькими десятками коллег был переведен на работу в Москву, где возглавил Лабораторию № 2. Сейчас у нас в институте исследования в области атомной энергетики не ведутся — они сконцентрированы в других научных центрах России, в частности РФЯЦ-ФНИИЭФ (Саров), с которым у нас, кстати, активно развивается сотрудничество в области фотоники.

Кроме УТС, о котором я уже упоминал, мы активно занимаемся разработкой систем накопления энергии на основе Li-ионных аккумуляторов, в которых углеродные наноструктуры находят сейчас масштабное применение в качестве электродных материалов. В настоящее время их разработка и внедрение очень актуально для коренной модернизации систем энергоснабжения изолированных и труднодоступных территорий Дальнего Востока и Арктической зоны РФ, где не существует Единой сетевой энергосистемы России. ФТИ им. А. Ф. Иоффе является одной из ведущих экспертных организаций в России в области разработки и тестирования высокоомощных Li-ионных аккумуляторов и аккумуляторных батарей широкого применения на их основе. Сейчас в рамках программы импортозамещения мы разрабатываем совместно с АО «Татнефтьхиминвест-холдинг» производственную технологию отечественных анодных углеродных материалов для обеспечения локализованного производства высокоомощных аккумуляторов в России.

Четвертое приоритетное направление — создание и изучение различных новых материалов, включая другие наноуглеродные материалы (детонационные наноалмазы, производные графена — двумерной пленки углерода толщиной в 1 атом), а также различные оксидные катализаторы для физико-химических процессов возобновляемой (водородной) энергетики, нанокompозитные термопластичные полимеры и т.д.

— **Какие открытия были совершены учеными ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН уже в наши дни, в XXI веке?**



— Вы знаете, назвать что-то открытием, что называется, при жизни исследователя — это всегда довольно сложная задача: нужно время, чтобы оценить полученный результат, его уникальность и взаимосвязь с другими в данной области, проверить и, если хотите, доказать его значение и перспективы. Например, будущему академику, лауреату Нобелевской премии по физике 2000 года Ж. И. Алфёрову — первооткрывателю полупроводниковых гетероструктур — потребовалось для этого около 8 лет. Но в любом случае открытию практически всегда предшествует длительная напряженная интуитивная работа ученого, направленная на решение конкретной научной проблемы или природной загадки. Отвечая на ваш вопрос, выделю четыре, на мой взгляд, значительных фундаментальных открытия, сделанных в ФТИ в последние несколько лет.

Первое открытие — в области астрофизики. Там сложно делать открытия, хотя, в общем, мы часто видим сообщения в Интернете об открытии, например, новой звезды, новой экзопланеты и тому подобное. Но сейчас одним из основных направлений в области экспериментальной и теоретической астрофизики является обнаружение и идентификация объектов во Вселенной, обладающих гигантской энергией или экстремально высоким магнитным полем, наличие которых можно регистрировать в виде импульсов различных излучений огромной энергии с помощью наземных радиотелескопов или орбитальных (космических) телескопов, позволяющих проводить наблюдения за небесными объектами вне влияния земной атмосферы. В ФТИ им. А. Ф. Иоффе в конце прошлого века были открыты гамма-всплески — мощные вспышки гамма-излучения. Это открытие было сделано Р. Л. Аптекарем, замечательным ученым с мировым признанием, к сожалению, уже ушедшим из жизни, но оставившим после себя экспериментальную методику и школу. Созданный при его участии гамма-детектор с названием «Конус» продолжает работать уже более 30 лет на американском спутнике Wind. Несмотря на наши непростые отношения с США, американцы до сих пор не отключили этот детектор, и он продолжает регулярно фиксировать различные гамма-всплески, приписываемые магнетарам — релятивистским (вращающимся) звездам с рекордными магнитными полями.

В астрофизике наблюдаются и другие аномальные явления, такие как, например, редкие и мощные радиовсплески, то есть всплески микроволнового излучения. Их источник был неизвестен, и молодой перспективный ученый нашего института А. В. Ридная из отделения академика А. М. Быкова, одного из современных лидеров астрофизической школы ФТИ, которая работала в 2020 году в международной команде радиотелескопических исследований астрофизической обстановки, обнаружила уникальную полную временную и пространственную корреляцию мощного радиовсплеска с параметрами гамма-вспышки, зафиксированной одновременно с помощью аппарата «Конус-Wind». Таким образом, было впервые установлено, что источник радио-всплесков — магнетары, одновременно с гамма-излучением выдающие еще и мощное излучение в микроволновом радиочастотном диапазоне. Это открытие было признано мировым астрофизическим сообществом, а результаты проведенного А. В. Ридной с коллегами исследования опубликованы в самом авторитетном в данной области научном журнале *Nature Astronomy*. (Фото 3)

В 2022 году в ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН было сделано открытие в сфере УТС. Наши ученые пришли к уникальному результату: с помощью различных методов разогрева плазмы им удалось получить ионную температуру $50\,000\,000\text{ }^\circ\text{C}$ — это всего в 2 раза меньше критической температуры начала реакции термоядерного синтеза! И все это на нашем маленьком сферическом токамаке «Глобус-М2», занимающем третье место в мире по размерам среди работающих малых сферических токамаков (после токамаков США и Великобритании). О таком разогреве в 2000-х и мечтать не могли. Одним из основных участников эксперимента был тоже воспитанник нашей физтеховской школы УТС — Г. С. Курскиев, буквально на днях защитивший докторскую диссертацию. В 2022 году он успешно доложил результаты данного эксперимента на конференции МАГАТЭ в Великобритании. Основателем нашей научной школы УТС в 1950-х годах был академик В. Е. Голант, а сейчас ее возглавляет Е. З. Гусаков вместе с В. К. Гусевым — создателем нашего токамака. Таким образом, результаты экспериментальных и теоретических работ ученых ФТИ им. А. Ф. Иоффе убедительно показали, что увеличение в 2 раза диаметра сферического токамака (до 1,5 м), и удвоение магнитного поля до 2 Тесла позволит достигнуть температуры плазмы порядка $250\,000\,000\text{ }^\circ\text{C}$, а это уже реальный УТС — процесс, рождающий поток быстрых нейтронов с интенсивностью $10^{18}\text{ см}^{-2}\text{ с}^{-1}$, достаточной для практических применений. (Фото 2) Одно из них — это создание гибридных атомных реакторов замкнутого ядерного топливного цикла на быстрых нейтронах, способных утилизировать отработанное ядерное топливо или активировать его непосредственно в атомном реакторе. И в России эта идея уже реализуется в рамках проекта «Прорыв» ГК «Росатом» совместно с НИЦ «Курчатовский институт» под научным руководством академика Е. О. Адамова посредством создания реактора БРЕСТ-ОД-300.

Скажу еще о двух открытиях в областях, далеких от космоса и термояда, сделанных с участием молодых ученых нашего института в 2025–2026 годах, а именно в областях углеродных нанотехнологий и магнитооптической обработки информации, которые имеют очень большой потенциал практического применения. Известно, что нашими соотечественниками А. К. Геймом и К. С. Новосёловым, выпускниками московского Физтеха (МФТИ), в 2010 году совместно была получена Нобелевская премия по физике за открытие графена — вещества, представляющего собой химически стабильный слой углерода толщиной в один атом. Использование чисто монослойных состояний — вещь редкая и тонкая, а вот малослойный графен уже имеет определенное число практических применений. Как получать такой материал? В мире существует много методов. Но в 2025 году в физико-химической лаборатории нашего института, занимающейся в числе прочего и нанодиагностикой, был открыт оригинальный способ самораспространяющегося высокотемпературного синтеза малослойного графена из биологических объектов, биомассы. Выяснилось, что любой биологический объект, в частности борщевик — потенциально вредоносный сорняк, с которым ведется борьба, — при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе может стать источником производственного получения малослойного графена. Открытие это было сделано совместно молодым исследователем А. А. Возняковским и опытным ученым С. В. Кидаловым из лаборатории, возглавляемой А. Т. Дидейкиным, как сейчас принято говорить, в консорциуме с несколькими организациями: ИСК РАН, СФАО и др. Открытие способа производственного получения малослойного графена имело широкий резонанс в прессе и в сети Интернет. Думается, что у этого открытия большие перспективы: оно позволяет понять, какую пользу могут приносить биологические объекты, традиционно воспринимаемые как отходы.

И наконец, еще одно недавнее, знаменательное открытие молодых ученых нашего института — открытие сверхбыстрого лазерного управления магнитным состоянием вещества. В этой области у нас работает молодежная лаборатория под руководством кандидата физ.-мат. наук А. М. Калашниковой, лауреата премии Президента РФ. (Фото 4) Суть открытия состоит в том, что при воздействии на определенные антиферромагнитные материалы сверхкоротким импульсом лазерного излучения (в фемтосекундном диапазоне времен, 10^{-15} с) им удалось обнаружить некое «скрытое» состояние вещества, которое практически мгновенно меняет направление намагниченности материала, реализуя сверхбыструю магнитооптическую запись. Это следующий шаг по сравнению с существующими сейчас физическими процессами, используемыми для создания магнитной памяти, который впоследствии может привести к революции в технике.



Фото 4

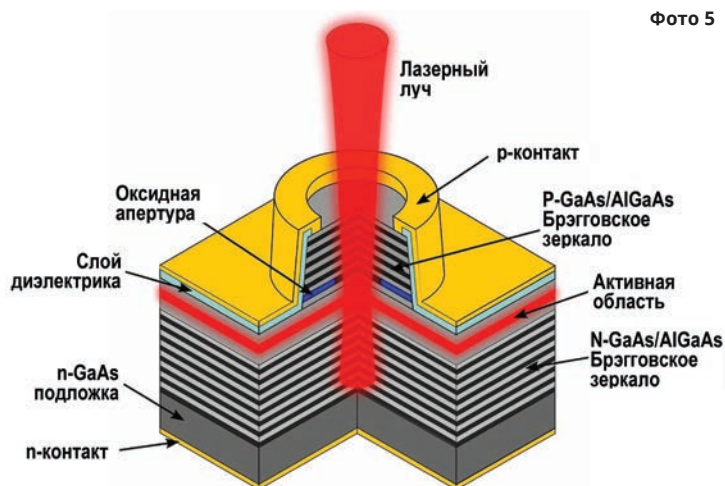


Фото 5

А второе явление — это генерация высокочастотным лазерным импульсом спиновых волн в феррит-гранате, что открывает путь к созданию магнитоэлектронных микроустройств с аналоговой обработкой информации в сверхвысокочастотных диапазонах вплоть до терагерц. Уникальность этих открытий, опубликованных в ведущих международных журналах в 2026 году, заключается в том, что эти процессы происходят не при криогенных температурах, а при комнатной.

— **Насколько быстро сегодня фундаментальные научные открытия и разработки воплощаются в жизнь? От чего это зависит? Какие разработки ученых ФТИ им. А. Ф. Иоффе уже в наше время были внедрены в практику производства? Какие разработки будут внедрены в ближайшей перспективе и что они привнесут в повседневную жизнь людей?**

— Это очень важный вопрос, и сейчас как раз Правительство РФ и Академия наук весьма активно стремятся повернуть вектор фундаментальных научных исследований в России в прикладную сферу.

На самом деле деятельность Физико-технического института с его основания была ориентирована на поиск путей применения результатов фундаментальных научных исследований для создания новых видов техники, об этом свидетельствует и его название. Вспомним историю, когда основатель нашего института А. Ф. Иоффе, рассказывая в 1932 году на заседании Правительства СССР о созданных на базе кремния в ЛФТИ преобразователях солнечного излучения в электрическую энергию с КПД 2%, сразу же предложил разработать государственную программу создания «солнечных крыш» зданий.

И потом, во время Великой Отечественной войны и после нее, в ФТИ фундаментальная наука обычно шла рядом с прикладными разработками: и в 1940-х годах, когда разрабатывался и запускался советский Атомный проект, и в 1950–1960-х при создании кремний-германиевой электроники и силовой полупроводниковой техники в стране, и с развитием исследований более сложных полупроводников АЗВ5 в 1960–1970-х, и позже при возникновении гетероструктурной опто- и микроэлектроники в 1970–1980-х годах и квантовых электронных нанотехнологий на их основе.

И сейчас, когда остро встает вопрос о переходе к прикладным исследованиям от чисто фундаментальной грантовой деятельности предыдущего 30-летия, становятся опять важны совсем другие критерии результативности ученого: одних научных статей недостаточно — необходимы патенты, нужно получить экспериментальный, а за ним опытный образец изделия с определенными параметрами и в заданные сроки, и с проверкой заказчиком достигнутых результатов. И это уже стресс, гонка, ненормированный напряженный труд. Но, к сожалению, другим способом технологический суверенитет и технологическое лидерство стране не обрести.

Сейчас можно часто услышать, что ФТИ им. А. Ф. Иоффе преуспевает лишь в прикладных исследованиях, которые базируются преимущественно на школе академика Ж. И. Алфёрова, — это полупроводниковые технологии гетероструктурной фотоники, СВЧ-электроники, мощных ИК-лазеров и фотоприемников различных типов. И это во многом правда, но не вся. И в данной области, и в других направлениях физики, где также в Физтехе Иоффе существуют сильные научные школы, активно развиваются прикладные работы. В оптоэлектронике появилось много новых разработок, которые уже нашли свои применения. Например, компактные вертикально-излучающие лазеры (ВИЛ) со встроенными в процессе роста лазерной гетероструктуры Брэгговскими зеркалами, которые применяются в различных компактных квантовых сенсорах размером несколько миллиметров диаметром, а именно квантовых генераторах частоты,

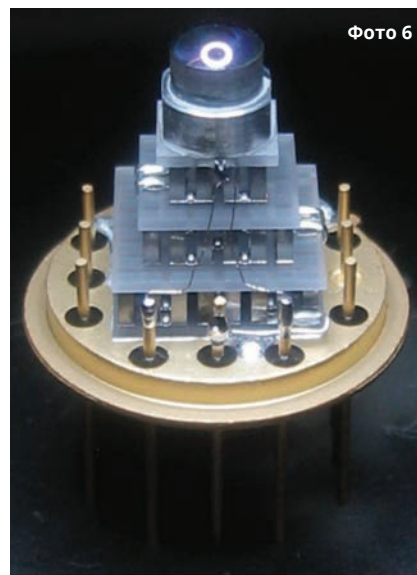
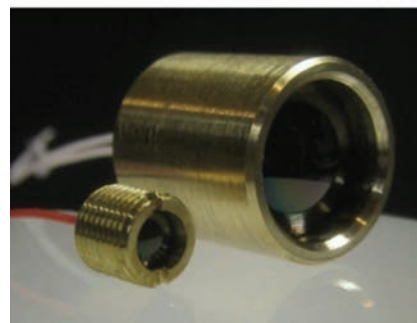


Фото 6





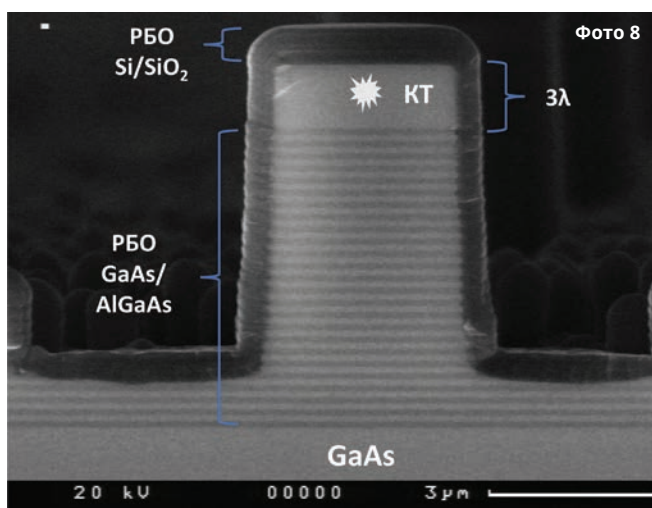
квантовых магнитометрах и ядерных магнитных гироскопах. На базе разработанных в нашем институте ВИЛ отечественные предприятия создают современные уникальные приборы со сверхвысокой точностью и чувствительностью. (Фото 5)

Новое для России направление — уже упоминавшиеся квантовые каскадные лазеры (ККЛ), позволяющие получать при комнатной температуре достаточно мощное излучение в ИК спектральных областях прозрачности атмосферы, что необходимо для обеспечения помехозащищенной всепогодной оптической связи. Такие ККЛ большой мощности (свыше 20Вт) на основе полупроводниковых гетероструктур AlGaInAs, работающие в диапазонах от 4 до 8 микрон при комнатной температуре и содержащие до 1 тыс. чередующихся эпитаксиальных слоев различного химического состава и нанометровой толщины, были разработаны и изготовлены в нашем институте совместно с компанией ООО «Коннектор-Оптикс», основанной выходцами все той же Алфёровской школы. При этом за несколько лет было сокращено 30-летнее отставание от лучших мировых разработок. Другое применение таких лазеров — технологический и экологический мониторинг состава газовой среды (воздуха) в среднем ИК диапазоне 3–5 микрон. Это позволяет обнаруживать малые содержания различных техногенных и природных газов, дистанционно определять утечку природного газа из газопроводов, например с помощью БПЛА.

При наличии полупроводниковых фотодетекторов, настроенных на соответствующие длины волн лазеров или светодиодов в этом диапазоне, можно создавать оптические мониторы для содержания определенного газа в той или иной среде, например углекислого газа в выдыхаемом человеком воздухе, метана в шахте и т.д. с высокой точностью. В частности, наши ученые создали детекторы углекислого газа для активно использовавшихся в период пандемии COVID-19 аппаратов искусственного дыхания производства отечественной компании ООО «Тритон электроникс». Это стало событием в сфере импортозамещения — появление оснащенного отечественными оптическими датчиками аппарата ИВЛ! (Фото 6)

Разработки наших технологов в области трехкаскадных гетероструктурных солнечных фотопреобразователей с КПД 27% были переданы в конце 2000-х годов в компанию ООО «Сатурн» (Краснодар), лидирующую в настоящее время в области производства солнечных батарей для космической отрасли.

Мы много лет активно сотрудничаем в качестве испытательного полигона наукоемкого оборудования с АО «Научное и технологическое оборудование» (первое название — SemiTEq, г. Санкт-Петербург), недавно отметившим свое 25-летие и основанным выходцами из школы Ж. И. Алфёрова — единственным в России предприятием, серийно выпускающим установки для МЛЭ с качеством получаемых приборных гетероструктур, сопоставимым с уровнем ведущих мировых производителей, а также лидером в производстве отечественного оборудования для планарного процессирования приборов опто- и СВЧ-электроники на основе полупроводниковых гетероструктур. (Фото 7)



Находят практическое применение и результаты наших исследований в области квантовой фотоники в плане создания приоритетных на мировом уровне источников одиночных фотонов на основе квантовых точек для квантовых вычислений и коммуникаций. За 4 года технологических и оптических исследований с 2014 года при поддержке Фонда перспективных исследований нам удалось сократить 12-летнее отставание от ведущих лабораторий Европы, США и Японии и создать чип источника одиночных неразличимых фотонов (ИОНФ), превосходящий в 1,5 раза по интенсивности лучший в мире на тот момент промышленный образец ИОНФ фирмы Quandela (Франция). Он до настоящего момента успешно используется в квантовых симуляторах МГУ им. М. В. Ломоносова в составе французской установки. (Фото 8)

Существенной проблемой для быстрого внедрения результатов НИОКР в отечественную промышленность в области современной электроники и фотоники является большой разрыв в уровне технологического оборудования и соответствующей

квалификации специалистов между производством и разработчиками, который образовался в период 1990–2015 годов. Для ускорения решения этой проблемы на одной из площадок ФТИ им. А. Ф. Иоффе сейчас завершается строительство НИОКР-центра с площадью чистых помещений 3,5 тыс. кв. м, начатое 13 лет назад, на базе которого параллельно создается институтский Центр импортозамещающей гетероструктурной электронной компонентной базы (т. н. Центр ЭКБ Иоффе) с финансированием по линии Минобрнауки России. В Центре ЭКБ Иоффе на формируемых сейчас пилотных линейках полного цикла (для различных видов фотонной ЭКБ) НИРы, выполненные в лабораториях института, будут переходить в ОКРы в интересах конкретных промышленных заказчиков и доводиться до промышленного внедрения. Также там будет осуществляться тестирование и адаптация к реальному производству серийно производимого отечественного технологического оборудования полного цикла и чистых материалов и готовиться высококвалифицированные научные и инженерные кадры, способные проводить НИОКР в области современной электронной и фотонной ЭКБ и осуществлять наукоемкое производство. (Фото 9)

Применяются в технике наработки наших специалистов в области литий-ионных аккумуляторов, внедряются термоэлектрические преобразователи новых типов. Перспективно производство наноалмазов по созданной и оптимизированной нами технологии детонационного синтеза. Они могут применяться в томографических методах медицинской диагностики для подсветки тех или иных органов и систем человека, но есть и еще масса других применений, таких как упрочнение лакокрасочных покрытий или резин, создание шлифовальных суспензий для сверхтонкой полировки твердых материалов и др.

Большой потенциал практического применения просматривается у уже упоминавшегося малослойного графена, созданного в одной из 10 молодежных лабораторий нашего института. Наибольший интерес, по нашему мнению, представляет многоэлементный сенсор из примерно 30 резистивных элементов различной ширины, напечатанным принтером из суспензий с малослойным графеном, активированным в определенных химических реагентах. При пропускании газов этот уникальный «электронный нос», разрабатываемый уже в другой молодежной лаборатории института, по-разному реагирует на тот или иной газ и даже запах, регистрируя их количественную и качественную диаграмму. Сейчас вместе с промышленным партнером мы планируем создание производства таких высокочувствительных детекторов утечек метана, но с учетом создания электронной базы запахов с использованием ИИ спектр практических применений графенового «электронного носа» может быть очень широким.

Ну и еще я бы рассказал об одной своей мечте, связанной со сферой малой энергетики, — о массовом внедрении двигателей с внешним подводом тепла для электрогенерации на удаленных и труднодоступных территориях ДВ и АЗ РФ. В этих двигателях, работающих по циклу Стирлинга, тепло подводится извне, перемещение рабочего тела внутри двигателя — источник механической энергии, с помощью электромоторов преобразуемой в энергию электрическую. Источником тепловой энергии для такого двигателя может выступать любой вид топлива (добываемые в труднодоступных регионах природный газ, нефть, уголь, древесина), а также дизельное топливо и даже мусор. По сравнению с двигателями внутреннего сгорания наши двигатели в силу простоты своей конструкции имеют повышенный ресурс, малый уровень шумности, являются экологически нейтральными.

Линейка подобных двигателей оригинальной конструкции, разработанной учеными и инженерами ФТИ им. А. Ф. Иоффе, сможет производить электроэнергию мощностью от десятка киловатт до единиц мегаватт с одного блока с КПД более 30%! Проведены теоретические разработки, получены макетные образцы малой мощности. Такие двигатели могут стать основой автономной, эффективной, беспере-

бойной, экологически чистой энергогенерации в районах ДВ и АЗ РФ, в рамках малой распределенной сетевой энергетики, что мы неоднократно подчеркивали в наших выступлениях на Международной научно-практической конференции «Дальний Восток и Арктика: устойчивое развитие». (Фото 10) В этом году мы должны запустить проект по созданию экспериментального образца двигателя с внешним подводом тепла для демонстрации его уникальных характеристик по мощности, эффективности, габаритам и другим параметрам.

— **Вам посчастливилось трудиться под руководством Нобелевского лауреата Жореса Ивановича Алфёрова, быть его учеником. Расскажите, пожалуйста, о работе под руководством легендарного ученого. Есть ли такие жизненные и научные принципы, которые у вас сформировались в результате общения и совместного труда с Ж. И. Алфёровым?**

— Да, конечно, Ж. И. Алфёров — это великий человек во многих отношениях: всемирно известный ученый, учитель, борец, общественный деятель, яркий популяризатор науки, очень обаятельный человек с прекрасным чувством юмора. Он очень внимательно относился к людям, с которыми работал. Забота и внимание Жореса Ивановича чувствовались с самого начала, когда мы, молодые 20-летние исследователи, пришли работать в возглавляемую им лабораторию в ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Это была школа настоящего наставничества, имеющая в нашем институте глубокие корни, еще со времен его первого директора Абрама Фёдоровича Иоффе, ученики которого называли себя «детским садом папы Иоффе». «Детский сад» этот, конечно, состоял из великих имен, таких как Н. Н. Семёнов, П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Я. И. Френкель, И. В. Курчатов и мн. др. Абрам Фёдорович поддерживал развитие каждого из своих учеников, их стремление идти вперед, расти, развиваться в своем направлении. Так же делал и Жорес Иванович.

Качества самого Ж. И. Алфёрова во многом характерны и типичны для выдающихся ученых: увлеченность своим делом, интуиция — способность предвидеть появление и перспективность каких-то еще неясных направлений в науке, которые должны потом родиться и даже составить целые отрасли науки; порядочность — это когда человек далек от любых мыслей, что что-то делается лично для себя, и, конечно же, интеллигентность. Все это было у Абрама Фёдоровича Иоффе, и у Жореса Ивановича Алфёрова, и у многих других наших учителей и старших товарищей.

Сделав главное открытие в своей жизни: полупроводниковые гетероструктуры для опто- и микроэлектроники, Ж. И. Алфёров сразу задумался о целевой подготовке кадров с учетом современного состояния физической науки, о подготовке будущих исследователей. В 1973 году он в родном для себя Ленинградском электротехническом институте им. В. И. Ульянова (Ленина) (ЛЭТИ) создал кафедру оптоэлектроники. Я осознанно поступал в ЛЭТИ на «Алфёровскую кафедру», первую базовую при ФТИ им. А. Ф. Иоффе, будучи под впечатлением от семинара известного физтеховского теоретика И. А. Меркулова, который

Фото 9



тот вел для нескольких 10-классников в физико-математической школе № 239, которую я заканчивал. На кафедре оптоэлектроники мы действительно получили уникальное «физико-техническое» образование: общий курс физики всему нашему потоку читал известный в мире теоретик Б. И. Шкловский, а с третьего курса практически все занятия у нас вели, передавая свои знания и опыт, широко известные в своей области ведущие ученые Физтеха: теоретики, экспериментаторы, технологи.

На третьем курсе в 1980 году я в числе студентов-отличников был приглашен Алфёровым в его лабораторию на практику и попал в группу П. С. Копьева, которая как раз в это время осваивала одну из первых в стране французских установок молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Эта уникальная «нанотехнология», изобретенная в США, помогала контролируемо осаждать слои различных полупроводников толщиной в 1 моноатомный слой (!) и открывала путь к новым «квантово-размерным» гетероструктурам. Как я осознал уже позже, случайностей в жизни не бывает: когда ты все стараешься делать хорошо, то в итоге оказываешься там, где тебе нужно быть, чтобы двигаться вперед и вверх. (Фото 11)

Я довольно быстро понял, что мое основное пристрастие — это сложная современная технология, и я хочу заниматься именно ей. Развитие новой для нас сверхвысоковакуумной технологии МЛЭ тогда двигалось с трудом, и именно молодые исследователи нашей группы из кафедры Алфёрова, не отягощенные прошлым опытом и стереотипами, но получившие мощное комплексное образование — от квантовой механики до химических свойств различных полупроводников и физики полупроводниковых приборов, послужили основной движущей силой в создании совершенно новых полупроводниковых лазеров, базирующихся на квантовых технологиях и превзошедших по своему уровню и по своим параметрам те, что были когда либо созданы, в том числе и с использованием этой же МЛЭ-технологии в США. Это было здорово и символично, поскольку идея Жореса Ивановича о необходимости специальной подготовки исследователей сработала в полной мере! И хотя он большую часть времени был тогда в разъездах, но, приезжая, всегда спрашивал, как идет работа, живо интересовался нашими достижениями, и из его вопросов мы понимали, что его интересует не просто результат, а лучший в мире результат! И когда тот пришел в 1987 году, Жорес Иванович радовался вместе с нами как ребенок. Эта работа под руководством Алфёрова привила мне один из его основных принципов в науке и жизни: если ты что-то делаешь, то делай так, чтобы это было лучшим в мире. И это не бахвальство, а важный для работы ориентир, который я передаю своим ученикам и молодым сотрудникам нашего института.

А еще в нем органично сочетались, на первый взгляд, два противоречащих друг другу качества: интернационализм и патриотизм, в каждом из которых он был искренен и последователен. Жорес Иванович объездил по работе много стран (США, Европа, Азия), работал в иностранных лабораториях, участвовал в многочисленных конференциях, делегациях и поэтому имел везде много друзей-коллег. Как и А. Ф. Иоффе, он организовывал международные конференции в СССР и России, приглашая на них ведущих ученых, нобелевских лауреатов, и мы, молодые ученые, участвуя в этих конференциях, получали возможность общаться с мировыми корифеями в обычной, а не только научной обстановке. И мы учились понимать, что ученые всех стран — это люди с близким нам мировоззрением, занятые одинаковыми с нами проблемами, и что в науке нет границ, как, впрочем, и политики. Эти встречи впоследствии очень помогли нам устанавливать и поддерживать международные научные связи и полноценно интегрироваться в мировое научное сообщество в 1990-е и 2000-е годы, когда наша страна и отечественная



наука переживали нелучшие времена... Многие из учеников Ж. И. Алфёрова в те годы остались работать за рубежом, заняли там достаточно высокие позиции в университетах и компаниях... А другие использовали международные гранты и контракты, чтобы сохранить свои физтеховские лаборатории. И это уже работали уроки патриотизма, которые также преподавал нам Ж. И. Алфёров, который всегда был патриотом, не мыслил своей жизни вне родной страны и в самые тяжелые для нее времена делал все возможное для сохранения и развития нашего института и всей российской науки. Уже в 1993 году Жорес Иванович вместе со своим другом Нобелевским лауреатом Лео Есаки (Япония) организовал и начал ежегодно проводить в России масштабную международную конференцию по наноструктурам с участием известных иностранных ученых, что также работало на ускоренный научный рост молодых исследователей из ФТИ и других российских институтов и на приток иностранного финансирования российских исследований.

Многие учившиеся у Ж. И. Алфёрова называют себя его учениками, но он сам далеко не всех из них относил к числу своих учеников. Мне посчастливилось быть в числе тех, кого сам Жорес Иванович называл своим учеником. Позволю себе поделиться таким воспоминанием: когда в 2018–2019 годах проходили выборы директора ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Жорес Иванович, уже не работавший тогда в институте, а возглавлявший созданный по его инициативе Академический университет, узнав о выдвижении моей кандидатуры на пост директора ФТИ, одобрил это решение коллектива и выразил в своем интервью, посвященном 100-летию Физтеха, уверенность в том, что в деятельности института все будет в порядке. И я на посту руководителя этого великого института стараюсь продолжать дело своего Учителя и руководствоваться принципами, которые он мне передал в наследство.

— **Последним и, наверное, наиболее любимым детищем Ж. И. Алфёрова стал Академический университет, который теперь носит его имя. В чем уникальность данного вуза по сравнению с большинством других университетов РФ? Много ли выпускников СПб НИАУ им. Ж. И. Алфёрова РАН по окончании вуза приходит работать в ФТИ им. А. Ф. Иоффе?**

— Как я уже говорил, Ж. И. Алфёров последовательно разрабатывал систему подготовки кадров для научной деятельности начиная в 1973 года с создания базовой кафедры в ЛЭТИ. Затем, в конце 1980-х годов, параллельно с созданием при ФТИ собственной Физико-технической школы для одаренных детей, которая быстро превратилась в одну из лучших физматшкол нашего города, а впоследствии и страны, в Ленинградском политехническом институте им. М. И. Калинина (сейчас Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого) был организован физико-технический факультет (ФТФ) с четырьмя базовыми кафедрами ФТИ им. А. Ф. Иоффе, который мог принимать весь выпуск ФТШ. И уже на базе ФТФ впоследствии был сформирован Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет, в настоящее время носящий имя Ж. И. Алфёрова, который интегрировал в себя Лицей «Физико-техническая школа», завершив тем самым создание системы непрерывной подготовки и воспитания исследователей переднего края «школа — вуз — Российская академия наук».

Более подробно о задачах, особенностях и достижениях СПб НИАУ им. Ж. И. Алфёрова расскажет его ректор А. Р. Наумов в своем интервью в этом выпуске журнала. Я же скажу, что на всех этапах создания ФТШ, ФТФ и АУ Жоресу Ивановичу помогали коллеги из Физтеха Иоффе, многие из которых преподавали и продолжают преподавать и активно работать со школьниками и студентами Алфёровского Лицея и Алфёровского университета. Более 100 выпускников ФТШ активно занимаются наукой в лабораториях ФТИ. И мы в ФТИ надеемся, что Алфёровский университет скоро станет основным поставщиком исследовательских кадров в наши лаборатории, начиная уже с 3-го курса. Именно поэтому в рамках возрожденного в 2023 году Академического университета им. Ж. И. Алфёрова мы с его ректором А. Р. Наумовым решили создать не просто базовую кафедру, а Базовый научно-образовательный кластер ФТИ им. А. Ф. Иоффе в составе трех кафедр: физики космоса, физики конденсированного состояния и полупроводниковых нанотехнологий и привлечь для преподавания в них около 25 ведущих физиков ФТИ. Так что идея Ж. И. Алфёрова о единстве подготовки уникальных ученых по системе «школа — вуз — академический научно-исследовательский институт» в наши дни достойно воплощается учениками великого физика и его последователями.

— **Сергей Викторович, спасибо вам большое за интересные, очень увлекательные, основательные, высокопрофессиональные ответы на наши вопросы. Мы желаем вам вдохновения, энергии, сил, новых ярких идей, их быстрого и беспрепятственного воплощения, больших успехов во всех направлениях вашей профессиональной деятельности на благо науки и нашей страны в целом, а ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН — процветания под вашим руководством!**

Беседа вел Дмитрий Парамонов

