



# Форум-приложение **НАНОМЕТР**

[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru)

**октябрь 2006**



## **Академик Юрий Дмитриевич Третьяков** (к 75-летию со дня рождения)



*Декан ФНМ МГУ академик  
Ю.Д.Третьяков и Ректор МГУ  
Академик В.А.Садовничий (2006 г.)*

Академик РАН Юрий Дмитриевич Третьяков – один из наиболее талантливых и неординарных представителей российского химического материаловедения, виднейший организатор науки нашей страны в областях общей, неорганической, физической химии, химического материаловедения и нанотехнологий. **4 октября 2006 г.** он отмечает свой 75-летний юбилей в полном расцвете творческих сил как выдающийся Ученый, организатор и бессменный Декан интереснейшего факультета нового типа Московского Государственного Университета, преподаватель и Воспитатель новых поколений молодых ученых, а также современный Руководитель крупнейшей кафедры неорганической химии (МГУ им. М.В.Ломоносова).

Юрий Дмитриевич окончил Химический факультет Ростовского государственного университета в 1954г., выполнив диплом по теме о равновесиях в водно-солевых системах. После окончания аспирантуры Химического факультета Московского государственного университета в 1958 г. он защищает кандидатскую диссертацию, в которой калориметрическими методами было

исследовано возникновение высококоэрцитивного состояния в магнитных сплавах. Долгое время Юрий Дмитриевич вместе с академиком В.А.Легасовым занимался фундаментальными основами и жизненно-важными проблемами химических технологий в СССР. В 1984 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1987г. – действительным членом АН СССР. С 1987г. он является действительным членом Международной Академии керамики (IAC), а с 1999г. – действительным членом Европейской Академии наук.

Вся научная и творческая деятельность Ю.Д.Третьякова теснейшим образом связана с Московским университетом. Сразу же после защиты кандидатской диссертации Ю.Д. Третьяков начинает новый для нашей страны цикл работ по исследованию суперсовременных (для того времени) магнитных оксидных материалов. Одновременно с разработкой основ «химических» методов гомогенизации ферритообразующих компонентов Ю.Д.Третьяков со своими сотрудниками начал проводить фундаментальные термохимические и термодинамические исследования ферритов, в основу которых были положены представления об этих веществах как о фазах переменного состава, характеризующихся широкими областями катионной и анионной (кислородной) нестехиометрии. Основными экспериментальными методами, получившими широкое распространение в лаборатории при выполнении этих исследований, стали калориметрия и микрокалориметрия Кальве. При изучении гетерогенных равновесий Ю.Д. Третьяковым широко используются такие классические методы экспериментальной термодинамики как динамический (метод закалки) и статический (метод прямого манометрического измерения давления кислорода в закрытой системе) методы. Особое внимание уделяется развитию метода электродвижущих сил (ЭДС) с твердым кислородпроводящим электролитом на основе оксида циркония. В результате многолетних исследований была изучена термодинамика большого числа оксидных соединений: ферриты со структурой шпинели и граната, ортоферриты и купраты редкоземельных элементов, алюминаты, силикаты, германаты, титанаты, хромиты, галлаты, индаты, танталаты, ниобаты и другие бинарные оксиды. Результаты этих исследований были обобщены в вышедшей в издательстве МГУ в 1974 г. монографии Ю.Д.Третьякова “Химия нестехиометрических оксидов”.



*Ученый, акад. Ю.Д.Третьяков, вместе с учителем, Проф. Шмальцридом, и коллегами на конференции по дефектам в твердом теле и нестехиометрическим оксидам (Ваальс, Бельгия, 2002 г.)*

Накопленный опыт и достижения в исследовании термодинамических свойств ферритов позволили вплотную заняться и успешно решить одну из важнейших фундаментальных и прикладных проблем процесса получения ферритовых материалов - проблему воспроизводимости структурно-чувствительных свойств ферритовых изделий, формирующихся при их термической обработке. Успехи, достигнутые лабораторией, в области синтеза новых материалов и исследования их фундаментальных свойств были отмечены в 1961 г. Ломоносовской премией Первой степени (К.Г.Хомяков, Ю.Д.Третьяков, Л.А.Резницкий). Одновременно, учитывая актуальность и оригинальность совместных работ по изучению ферритов, проводимых на химическом и физическом факультетах, ректорат МГУ принял решение об организации исследований по первой Межфакультетской проблемной тематике: "Исследование новых магнитных материалов". В дальнейшем исследования по Межфакультетским проблемам стали одной из важнейших форм научного сотрудничества между учеными МГУ, работающими на разных факультетах. Необходимо подчеркнуть, что многие достижения при исследовании ферритов стали возможны благодаря плодотворным контактам, которые постоянно развивал Ю.Д.Третьяков, с Физическим факультетом МГУ им. М.В.Ломоносова, а также с целым рядом отраслевых предприятий. Работы, выполненные Ю.Д.Третьяковым в этот период, находят своё естественное завершение в защите им докторской диссертации (1965г). Вслед за этим за достаточно короткий срок издаются три монографии: в 1967 г. в издательстве "Химия" вышла в свет книга Ю.Д.Третьякова "Термодинамика ферритов", в 1973 г. - в издательстве МГУ книга "Физико-химические основы термической обработки ферритов" (Ю.Д.Третьяков, Н.Н.Олейников, В.А.Граник), а в 1978 г. в издательстве "Химия" - книга Ю.Д.Третьякова "Твёрдофазные реакции". Выполненные работы в этой области также были

высоко отмечены – им была присуждена премия ВХО им. Д.И.Менделеева (1967 г.).

Создание в нашей стране оригинального и исключительно плодотворного материаловедческого направления – «Химия, технология и термодинамика ферритов» - в значительной степени обязано трудам Ю.Д.Третьякова и его научной школы. Работы по этой тематике, проводимые в конце шестидесятых - начале семидесятых годов, пробудили у Ю.Д.Третьякова интерес к синтезу и физико-химическому изучению и других магнитных материалов. Одними из таких новых, необычных материалов были халькогенидные магнитные полупроводники со

структурой шпинели  $AB_2X_4$  ( $A=Cd, Fe, Co, Cu, Ga, In$ ;  $B=Cr, Co$ ;  $X=S, Se, Te$ ) и твердые растворы замещения на их основе. Учитывая специфику синтеза новых материалов («поштучное» изготовление каждого образца в результате длительного отжига в ампулах), ставится большая серия поисковых экспериментов. Цель этих экспериментов - отработка оптимального варианта твердофазного синтеза. Одновременно решаются и другие задачи - проводится определение областей существования однофазной шпинели, изучение определяющего влияния катионной и анионной стехиометрии на магнитные и электрические свойства, исследования термической устойчивости этих соединений на воздухе и в инертной атмосфере, определение стандартных энтальпий образования и теплоемкости, коэффициентов линейного расширения, термодинамических характеристик магнитного превращения "ферромагнетик-парамагнетик". Результаты этих исследований были обобщены в вышедшей в 1981 г. в издательстве Московского университета монографии К.П.Белова, Ю.Д.Третьякова, И.В.Гордеева, Л.И.Королевой и Я.А.Кеслера "Магнитные полупроводники - халькогенидные шпинели". В этой монографии нашли дальнейшее развитие возможности принципиального подхода к анализу корреляций типа «состав – воздействие – свойство» при рассмотрении материалов со сложной структурой и свойствами.

Наиболее ярким событием конца шестидесятых годов безусловно является возрождение работ по криохимическому методу получения многокомпонентных веществ и материалов. Как известно, идея метода заключается в быстром замораживании (например, в жидком азоте) раствора, содержащего соли катионов, которые входят в состав синтезируемого вещества, и последующем сублимационном обезвоживании продуктов криокристаллизации. Проведение этих двух оригинальных стадий, реализованных в определенных условиях, позволяет получать высокооднородные

продукты не только для систем, образующих солевые твердые растворы, но и для систем, не обладающих таким свойством. Криохимический метод был предложен профессором К.Г.Хомяковым и Ю.Д.Третьяковым в конце пятидесятих годов. Однако сообщение о нем на одном из совещаний, обсуждавших проблемы синтеза ферритовых порошков было встречено буквально “в штыки”. Основными аргументами оппонентов, выступавших против этих работ, были, во-первых, длительность процесса сублимационного обезвоживания и, во-вторых, слабое развитие техники, позволяющей успешно реализовать эту стадию, что делало криохимический метод, по их мнению, бесперспективным.

После длительного обсуждения в лаборатории было принято решение сосредоточить усилия на развитии равновесного метода кристаллизации, успехи которого к этому времени уже были неоспоримы. Перспективность этого метода была подтверждена исследователями США. В 1968 г. появилось краткое сообщение о новом методе получения “керамики из растворов”, схема которого в точности копировала уже реализованный в нашей лаборатории криохимический метод. Итак, в конце шестидесятих годов, с опозданием почти на десять лет, вновь были начаты широкомасштабные исследования по криохимии и на примере криохимического метода получения многокомпонентных оксидных материалов были разработаны основные принципы создания репрезентативной диагностики для сложных химических процессов.

В 1979 г. решением Ректората МГУ создается лаборатория криохимической технологии и группа сотрудников, руководимая Ю.Д.Третьяковым, переводится в составе нового подразделения на кафедру химической технологии, именно в этот период и была выполнена основная часть криохимических исследований. В начале восьмидесятих годов эти работы были завершены и переданы на завод “Прогресс,” где начал успешно работать цех по производству ферритовых дисков - заготовок для изготовления важнейших деталей ЭВМ - магнитных головок, обеспечивающих запись и считывание информации. Для линии по производству ферритовых дисков на заводе “Прогресс” были специально разработаны установки для заключительной стадии процесса - горячего прессования, обеспечивающего получение конечных изделий с плотностью не менее 99,9% от теоретической величины. Проведенные исследования показали, что такой фантастический результат оказался доступен только благодаря применению в данном процессе ферритовых порошков с криохимической предысторией. За разработку криохимического метода получения ферритовых

материалов с уникальными свойствами Выставка достижений народного хозяйства (ВДНХ) в 1983 г. наградила лабораторию Почетным дипломом ВДНХ I степени, а группу сотрудников - золотой серебряной и бронзовой медалями ВДНХ. Результаты исследований процессов, сопутствующих получению материалов криохимическим методом, нашли своё отражение в книге Ю.Д. Третьякова, Н.Н. Олейникова, А.П. Можая “Основы криохимической технологии”, вышедшей в издательстве “Высшая школа” в 1987 году и в книге Ю.Д. Третьякова, Н.Н. Олейникова и О.А. Шляхтина “Cryochemical Technology of Advanced Materials”, вышедшей в издательстве “Chapman and Hall” в 1997 году.



*Воспитатель, академик Ю.Д.Третьяков на неофициальной встрече со студентами лаборатории неорганического материаловедения в период заката высокотемпературной сверхпроводимости (2004 г.).*

Научные интересы Ю.Д.Третьякова всегда были созвучны современным вызовам. В 1986 году швейцарскими физиками А. Мюллером и Д. Беднорцем, ставшими Нобелевскими лауреатами, был открыт новый класс оксидных соединений, обладающих свойствами высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Во многих странах начинается создание национальных программ по исследованию свойств этих соединений и по поиску новых сверхпроводников. В национальной программе нашей страны вначале предполагалось создать три раздела, задачей которых было бы исследование крупных и широко сформулированных проблем: изучение фундаментальных физических свойств ВТСП, химия и технология новых материалов и, наконец, решение важнейших прикладных задач. В процессе обсуждения этих программ заведующий кафедрой академик В.А. Легасов и академик Ю.Д.Третьяков обратились в ГКНТ с предложением сделать Химический факультет МГУ ведущей организацией второго раздела программы. Мотивация была весьма заманчивой: при решении проблем химического материаловедения, особенно крупных и сложных, нельзя не использовать тот огромный научный потенциал, который накопила в этой области

вузовская наука. При этом они убедительно, с цифрами в руках, доказывали, что при решении актуальных материаловедческих проблем в высокоразвитых странах основную роль играют факультеты материаловедения, находящиеся в лучших университетах. ГКНТ, обсудив с правительством это предложение, принимает решение сделать Химический факультет МГУ организацией, координирующей второй раздел национальной программы по исследованию ВТСП - "Химия и технология". Руководителем второго раздела был назначен академик Ю.Д. Третьяков. Так, впервые в истории организации научных исследований в нашей стране координирующей организацией становится ВУЗ - Химический факультет МГУ. В результате выполнения этого цикла исследований по ВТСП были разработаны оптимальные режимы термической обработки ВТСП-материалов на основе построенных Р-Т-х диаграмм и определения коэффициентов диффузии катионов и анионов кислорода в зависимости от кислородной стехиометрии. Именно эти разработки позволили создать огромное число высококачественных легированных образцов для физических измерений, что позволило при постановке совместных работ получить основную фундаментальную информацию о физических свойствах этих соединений и самого явления ВТСП. Было показано, что получение материалов с теми или иными структурно-чувствительными свойствами тесно связано с предварительным синтезом порошков с определенной реальной структурой. Кроме того, направленный синтез реальной структуры определенного типа позволяет значительно повысить химическую стабильность ВТСП-фаз. Одновременно с началом работ по созданию методов направленного синтеза было начато изучение кислородной нестехиометрии ВТСП-фаз, в первую очередь фаз семейства  $R\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ , так как именно этот параметр определяет возможности возникновения сверхпроводящего состояния. Значительное внимание было уделено развитию расплавных методов получения ВТСП, без которых получение объемных материалов с высокими значениями транспортного критического тока не представляется возможным. При разработке этой проблемы концепция о существовании в твердофазных материалах трех иерархических уровней: структуры (микро-, мезо- и макроструктуры) получила дальнейшее развитие, и в расплавных ВТСП-материалах дополнительно были выделены основные "подуровни" (те или иные элементы структуры, играющие важную роль в формировании структурно-чувствительных свойств этих материалов). В процессе экспериментальной работы была создана концепция, согласно которой любое воздействие вызывает одновременное изменение всех подуровней ВТСП-материалов с расплавной предысторией. Работа по изучению

твердофазных систем с переменной фрактальной размерностью ведутся и в «дочерней» лаборатории – лаборатории «Химической синергетики», организованной в ИОНХ РАН и руководимой Ю.Д.Третьяковым. Одновременно в лаборатории активно ведутся исследования влияния ультразвуковой и СВЧ-обработки на твердофазные процессы в широких температурных интервалах, которые существенно изменяют реальную структуру твердого тела. В результате проведенных исследований были получены объемная керамика и ленты ВТСП с плотностью критического тока до  $10^4 \text{ A/cm}^2$ . Работа, проводимая в области химии и технологии ВТСП, имеет широкое международное признание. На протяжении ряда лет кафедра при активной и многогранной поддержке ректора, академика РАН В.А.Садовниченко и декана Химического факультета академика РАН В.В. Лунина организует международный семинар по химии ВТСП (MSU-HTSC), ставший уже традиционным (в июне 2001г состоялся уже седьмой семинар). Бессменным руководителем оргкомитета этих конференций является академик Ю.Д.Третьяков.



*Декан, академик Ю.Д.Третьяков на праздновании Дня Материаловеда на ФНМ МГУ (2005 г.).*

Несомненно, особое по своей высочайшей значимости достижение, которое стало залогом формирования новых поколений молодых и талантливых ученых, заключается в том, что Юрий Дмитриевич является инициатором создания и деканом нового междисциплинарного подразделения МГУ - Высшего колледжа наук о материалах, преобразованного в Факультет наук о материалах, 15 – летний юбилей которого отмечался в этом году. Необходимость создания специального материаловедческого факультета в классическом университете была продиктована насущными потребностями быстро развивающейся науки и техники на рубеже 21-го века, особенно в областях, находящихся "на стыке" различных наук. Создание факультета на базе химического, физического и механико-математического факультетов МГУ объединило молодых талантливых сотрудников, работающих в области материаловедения, а также профессоров МГУ и исследователей из научных

институтов РАН и различных ведомств. Факультет наук о материалах МГУ – уникальное для классических университетов России учебное подразделение, выпускающее элитарных материаловедов-исследователей с фундаментальной университетской подготовкой. Одновременно Ю.Д. Третьяков является заведующим кафедрой неорганической химии (с 1988 г.) и заведующим лабораторией химической синергетики ИОНХ РАН (с 1994 г.).

Главное, что поражает в Юрии Дмитриевиче, особенно это ощущается теми, кто с ним непосредственно общается, – это многогранность и всегда высокая творческая активность его деятельности. Многогранность научная, многогранность педагогическая и главное, выдающаяся многогранность Юрия Дмитриевича как крупнейшей общественно-политической личности, сформировавшейся в нашей сложной и непростой, неоднозначной эпохе. Недаром ему, в числе творческого коллектива, совсем недавно (2005 г.) была присуждена Государственная премия РФ в области получения и исследования новых функциональных материалов. Одновременно с этим Московский Университет и лично Ректор МГУ высоко оценили выдающуюся педагогическую деятельность академика Ю.Д.Третьякова. Он награжден многочисленными грамотами и премиями, а его ученики, в том числе и самые молодые, многократно завоевывали золотые медали РАН, многочисленные гранты международных фондов и организаций, стипендии крупнейших российских и зарубежных компаний.

кандидатов и 5 докторов наук, является автором около 20 учебников и учебных пособий, к которым относятся и современные учебники по химии твердого тела, твердофазным превращениям и наноматериалам, ряд тематических обзоров в крупнейших российских и международных изданиях, которые вышли уже в 2005 - 2006 гг.

Академик Ю.Д.Третьяков выполняет огромную общественно-организационную работу, являясь членом редколлегий журналов «Успехи химии», «Журнала неорганической химии», «Неорганические материалы», «Материаловедение», «Химическая технология», «Journal of Solid State Chemistry», "Ceramics International", членом президиума Правления Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, председателем Экспертного Совета подпрограммы «Новые материалы и химические технологии» проекта «Инновационный Университет», членом Совета по нано- и биотехнологиям МГУ им.М.В.Ломоносова. Именно последнее направление – наноматериалы и нанотехнологии – рассматривается им в последнее время как наиболее приоритетное, что является его личным ответом на новые вызовы времени. Благодаря целенаправленной деятельности академика Ю.Д.Третьякова для центра коллективного пользования МГУ «Технологии получения новых наноструктурированных материалов и их комплексное исследование» приобретает самое современное, в большинстве случаев – уникальное для России и даже Европы, исследовательское и синтетическое оборудование. Результатом данной работы уже сейчас явилось не

только резкое повышение числа престижных публикаций и выигранных научных грантов, но и уменьшение оттока студентов и аспирантов зарубеж. Академик Ю.Д.Третьяков является одним из крупнейших экспертов-практиков по нанотехнологиям в Российской Федерации, что позволяет ему на национальном уровне проводить формирование перспективных планов развития РФ в области наукоемких технологий.



*Руководитель, академик Ю.Д.Третьяков, и коллектив кафедры неорганической химии Химического факультета МГУ им.*

Юрий Дмитриевич читает общие и специальные курсы лекций, много лет инновационно и комплексно совершенствуя преподавание общей и неорганической химии на химическом факультете МГУ, а также разрабатывая новые образовательные технологии и образовательные стандарты направления «Химия, физика и механика материалов» на ФНМ МГУ. Он подготовил свыше 70

**Коллектив факультета наук о материалах и химического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова сердечно поздравляет Юрия Дмитриевича с юбилеем и желает новых творческих свершений на благо науки и просвещения!**

Материалы статьи основаны на оригинальном тексте воспоминаний чл.-коор. РАН Н.Н.Олейникова и дополнены Е.А.Гудилиным. Фотографии – из архива факультета наук о материалах и лаборатории неорганического материаловедения химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова.

## Проблема развития нанотехнологий в России и зарубежом

*«Если бы меня спросили, какая область науки может обеспечить нам прорыв в будущее, я бы назвал нанотехнологии»  
Р. Фейнман, лауреат Нобелевской премии*

Нанотехнологический бум, переживаемый в настоящее время международным и российским научным сообществом, формально во многом сродни буму, который пережило почти 20 лет назад это сообщество в связи с открытием высокотемпературной сверхпроводимости. Напомню, что 18 октября 1986 года публикация И. Беднорца и К. Мюллера в журнале «Zeitschrift für Physik» дала старт гонке, которая несколькими месяцами спустя позволила исследователям техасского университета под руководством профессора К. Чу создать керамические оксидные сверхпроводники с критической температурой, превышавшей точку кипения жидкого азота.

Впервые в мировой практике благодаря электронной почте информация об этом открытии распространилась с огромной скоростью и потребовалось лишь 1-2 недели, чтобы исследователи многих стран воспроизвели, а в ряде случаев и превысили достижения группы Чу. В нашей стране это было впервые сделано совместно химиками и физиками Московского Университета. Месяцем спустя были созданы первые образцы сверхпроводящих пленок и покрытий, проволок и соленоидов, показавших, что высокотемпературная сверхпроводимость может стать технической реальностью. Тогда-то сверхпроводимость из научной проблемы превратилась в государственную. В нашей стране была образована государственная комиссия, которую возглавил тогдашний премьер-министр Н.И. Рыжков, а 26 мая 1987 года ученые и политики встретились вместе, чтобы, по сути дела, дать старт Государственной научно-технической программе по высокотемпературной сверхпроводимости. Значительное финансирование, которое с учетом инфляции в нынешних ценах составило около 500 млн. долларов/год, позволило существенно и достаточно быстро обновить приборный парк ведущих академических, отраслевых институтов и вузов и привлечь огромное число исследователей, многие из которых стремились преуспеть в создании новых поколений высокотемпературных сверхпроводников с более высокой критической температурой и особенно высокой критической плотностью тока, что в конечном счете предопределяло технические возможности использования сверхпроводящих материалов. Многие из этих исследователей располагали лишь дифрактометрами, печами и простейшими магнитными измерительными системами, функционировавшими при температурах жидкого азота, но и этого было достаточно, чтобы продвигнуться вперед и достичь определенного успеха. Хочу особенно подчеркнуть последнее обстоятельство, поскольку квалифицированная активность в создании новых нанотехнологий и наноматериалов требует несомненно более дорогого синтетического и диагностического оборудования,

включая чистые комнаты, электронные и атомно-силовые микроскопы, Фурье-, Рамановские, Оже-спектрометры и многое другое. Известно, что фронт работ в области высокотемпературных сверхпроводников в настоящее время значительно сузился, хотя и сейчас реализуются очень значимые по масштабам научно-технические проекты, связанные, в частности, с созданием сверхпроводящих моторов (Л.К. Ковалев), длинномерных сверхпроводников для сильноточной энергетики (Н.А. Черноплеков, А.Р. Кауль), электронных устройств и их компонентов, включая электромагнитные экраны, модуляторы, антенны, болометры для широкого диапазона излучений, а также измерительные устройства, использующие эффект Джозефсона. Естественно возникает вопрос, не разделит ли нынешний нанотехнологический бум судьбу последовавшего за открытием ВТСП. Боюсь, что сейчас трудно дать однозначный ответ на этот вопрос, хотя знаю, что есть очень уважаемые лица, представляющие как научное, так и бизнес-сообщества, которые довольно скептически относятся к идее переустройства мира благодаря повсеместному внедрению нанотехнологий. Думаю, что если, как и в случае с ВТСП, оправдаются далеко не все оптимистические прогнозы, связанные с развитием нанотехнологий, то и тогда наша страна могла и должна была бы последовать примеру наиболее индустриально развитых стран, тем более что нынешний шанс использовать «нефтяные» и «газовые» деньги может и не повториться.

Но вернусь к теме, обозначенной в названии статьи. Прежде всего, было бы целесообразно определиться с содержанием понятия «нанотехнологии», впервые появившегося в литературе с легкой руки Н. Танигучи (Япония). В самом общем смысле нанотехнологии включают создание и использование материалов, устройств и технических систем, функционирование которых определяется наноструктурой, то есть ее упорядоченными фрагментами размером от 1 до 100 нм. Важнейшей составной частью нанотехнологии являются наноматериалы, то есть материалы, необычные функциональные свойства которых определяются упорядоченной структурой их нанофрагментов размером от 1 до 100 нм.

Согласно рекомендации 7-ой Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004 г) выделяют следующие типы наноматериалов: нанопористые структуры; наночастицы; нанотрубки и нановолокна; нанодисперсии (коллоиды); наноструктурированные поверхности и пленки; нанокристаллы и нанокластеры. Последние представляют собой частицы упорядоченного строения размером от 1 до 5 нм, содержащие до 1000 атомов. Собственно наночастицы диаметром от 5 до 100 нм состоят из  $10^3$ - $10^6$  атомов. Нитевидные и пластинчатые частицы могут содержать гораздо больше атомов и иметь один или даже два линейных размера, превышающих пороговое значение, но их свойства остаются характерными для вещества в нанокристаллическом состоянии. Соотношение линейных размеров наночастиц позволяет рассматривать их как одно-, двух- или трехмерные (соответственно 1D-, 2D- и 3D-наночастицы). Если наночастица имеет сложную форму и строение, то в качестве характеристического рассматривают не

линейный размер частицы в целом, а размер ее структурного элемента. Такие частицы, как правило, называют наноструктурами, причем их линейные размеры могут значительно превышать 100 нм. В зависимости от того, какую преимущественную анизотропию имеют структурные элементы наноструктур, последние также подразделяют на одно-, двух- и трехмерные (нульмерные).

Наиболее важной отличительной особенностью наносистем является проявление в них эффекта размерного квантования. С классической точки зрения, по мере уменьшения размеров частиц в системе должно происходить увеличение удельной поверхности, а свойства объемной фазы остаются неизменными. При этом влияние размеров частиц на термодинамику системы учитывается введением в выражение для свободной энергии дополнительного слагаемого  $\gamma ds$ , где  $\gamma$  – коэффициент поверхностного натяжения, не зависящий от размера, а  $s$  – площадь поверхности. Согласно уравнению Томпсона, по мере уменьшения размеров частиц происходит увеличение равновесного давления пара и растворимости, изменяются температуры плавления и других фазовых переходов. Ряд экстенсивных свойств системы, связанных с протеканием процессов на ее поверхности, таких как адсорбция и катализ, пропорциональны удельной поверхности. Значение удельной поверхности частиц резко возрастает по мере приближения их размера к атомарному, что связано со значительным увеличением числа атомов, составляющих поверхность частиц.

Вместе с тем многие свойства материалов (в том числе магнитные, оптические, электрические) являются следствием коллективных взаимодействий в твердом теле и не могут сохраняться при переходе от объемного к наноматериалу. В этом случае свойства веществ не могут быть объяснены только увеличением их удельной поверхности и ростом числа поверхностных атомов без учета квантоворазмерных эффектов. Примерами могут служить такие явления, как образование квантовых точек в случае, когда размеры частиц полупроводника соизмеримы с дебройлевской длиной волны электрона, изменение ширины запрещенной зоны за счет локализации экситонов, переход ферромагнитных материалов в суперпарамагнитное состояние. Однако иногда размерный эффект проявляется даже в таких свойствах веществ, как их каталитическая активность или реакция веществ, способная: с уменьшением размера частиц может наблюдаться как резкое увеличение, так и уменьшение удельной активности, т.е. активности, отнесенной к одному атому металла. Как правило, этот эффект особенно ярко выражен у кластеров. Следует отметить, что важнейшей компонентой нанотехнологий является химический синтез нанопродуктов. В связи с этим уместно напомнить, что Нобелевский лауреат Р. Хоффман (кстати, сам по образованию физик, проработавший некоторое время в Московском Университете) в ответ на вопрос, что такое нанотехнология, остроумно заметил, что рад тому, что для химии люди нашли новое название. Теперь у них появился стимул изучать то, что они не желали учить в школе. По сути дела химики занимались нанотехнологиями на протяжении двух с половиной столетий. Современная нанотехнология отличается тем, что

она соединила талант химика-синтетика с мастерством инженера, и именно этот союз позволил создавать самые замысловатые структуры благодаря использованию как разнообразных темплатов, так и безтемплатных процессов, подобных Оствальдовскому вызреванию или использованию эффекта Киркиндаля.

Что можно сказать об истоках нанотехнологии и о фундаментальном вкладе российских исследователей в развитие нанотехнологий. Отправной точкой обычно считают легендарную лекцию Нобелевского лауреата Р. Фейнмана «Там внизу еще много места» («There's Plenty of Room at the Bottom»), в которой он предлагал манипулировать отдельными атомами для создания очень малых объектов с необычными свойствами. Эта идея была реализована в дальнейшем благодаря созданию сканирующего туннельного микроскопа (Г. Биннинг, Г. Рорер, 1981 г.) и атомно-силового микроскопа (Цюрихское отделение IBM, 1986 г.). Однако многие фундаментальные исследования, без которых было бы немислимо развитие современных нанотехнологий, проводились на протяжении десятилетий научными школами академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина и Нобелевского лауреата Ж.И. Алферова. Было бы несправедливо замалчивать пионерские работы В.Б. Алесковского по развитию методов «химической сборки», т.е. послойного (layer-by-layer) синтеза, заложившие начало успешно функционирующей и сейчас Санкт-Петербургской научной школе (С.И. Кольцов, А.А. Малыгин, И.В. Мурин, В.М. Смирнов, В.П. Толстой). Несомненным для своего времени достижением является создание и практическое внедрение в атомную энергетику оригинальных технологий получения ультрадисперсных (нано-) порошков, выполненное группой советских ученых под руководством И.Д. Морохова (И.Д. Морохов, Л.И. Трусов, С.П. Чижик, Ультрадисперсные металлургические среды. Атомиздат, Москва, 1977 г.). Примерно к тому же времени относятся фундаментальные исследования научной школы академика И.В. Тананаева, впервые предложившего дополнить классические диаграммы «состав-структура-свойство» координатой дисперсности (Физико-химия ультрадисперсных систем. Под ред. И.В. Тананаева. Наука. Москва, 1987 г.), а также оригинальные исследования акад. И.И. Моисеева и М.Н. Варгафтика по созданию так называемых «гигантских кластеров» палладия, ядро которых насчитывает около 600 атомов металла.

По целому ряду известных всем причин активность российских ученых в области нанотехнологий и наноматериалов равно как и в других научных направлениях значительно сократилась в последние десятилетия прошлого века. Парадокс заключается в том, что именно в этот период за рубежом, в первую очередь в США и в Японии, были сделаны важные открытия, включая создание объемных фотонных кристаллов с запрещенной оптической зоной (Яблонович, 1991 г.), синтез углеродных нанотрубок (Ижима, 1991 г.), а в дальнейшем и нанотрубок BN (Чопра, 1995 г.), MoS<sub>2</sub> и WS<sub>2</sub> (Тенне, 1995 г.), V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Ажайян, 1995 г.), TiO<sub>2</sub> (Хойер, 1996 г.). В этот же период были предприняты попытки создания молекулярных переключателей и измерения электропроводимости отдельных молекул, продемонстрирован полевой транзистор на

углеродной нанотрубке, продолжены исследования по самосборке молекул на металлической поверхности. Примерно в то же время группа экспертов Национального Научного фонда (NSF) США сделала заключение о безусловной приоритетности исследований в области нанотехнологий и наноматериалов, а в 2000 г. в США была принята долгосрочная комплексная программа, названная Национальной нанотехнологической инициативой. В соответствии с этой программой объем бюджетного финансирования нанотехнологических исследований в США уже в 2001 г. составил 420 млн. долларов, в 2004 г. вырос до 900 млн. долларов, а в дальнейшем вышел на стационарный уровень, немногим превышавший 1 млрд. долларов/год. В Японии и в странах Европейского Союза государственная поддержка нанотехнологических исследований немногим уступала США. Вместе с тем значительно возросла активность частного капитала. В 2002 г. число венчурных компаний, занимавшихся производством нанопродуктов, достигло в мире 320, причем среди них на производстве нанопорошков специализировалось 160 компаний, нанотрубок – 55, нанопористых материалов – 22, фуллеренов – 21, квантовых точек – 16, нановолокон – 9, нанокапсул – 8, нанопроволок – 6 и дендримеров – 5 компаний. Производство нанопорошков является довольно масштабным и связано с изготовлением катализаторов дожигания выхлопных газов автомобилей (11.5 тыс. тонн), абразивов (9.4 тыс. тонн), материалов для магнитной записи (3.1 тыс. тонн) и солнцезащитных материалов (1.5 тыс. тонн). Согласно прогнозам, рынок нанопорошков, оцениваемый сейчас в 1 млрд. долларов, должен к 2010 г. возрасти до 11 млрд. долларов, тогда как мировой рынок нанотехнологий в целом к этому времени предположительно должен превысить 1 триллион долларов США.

Акт об исследованиях и развитии нанотехнологий в XXI веке, подписанный президентом Бушем в 2003 г., предполагает фронтальное решение проблем нанотехнологии как в фундаментальном, так и в прикладном направлениях с выделением свыше тысячи направлений поиска, объединенных вокруг наноэлектроники, нанобиотехнологии, молекулярной электроники, наноэлектромеханики, наноэнергетики, оптоэлектроники, создания новых поколений функциональных и конструкционных наноматериалов, наноматериалов для медицины, машиностроения и робототехники, компьютерных технологий, экологии, авиации, систем безопасности и борьбы с терроризмом. Созданная в США инфраструктура включает ведущие университеты, национальные лаборатории и производственные структуры, функционирующие в составе венчурных компаний. Число продуктов, произведенных в США с помощью нанотехнологий, уже сейчас превысило 3 тысячи, а более половины патентодержателей составляют американские компании, университеты или частные лица. Даже Японии оказывается довольно трудно конкурировать с США и ей пришлось ограничить наноактивность более узким кругом решаемых задач. По числу нанотехнологических публикаций в международных журналах лидируют 6 стран, три из которых, представляющие запад (США, Германия, Франция),

несколько опережают восток (Япония, Южная Корея, Китай), причем на второе место уже в 2004 г., безусловно, вышел Китай, увеличивший за десятилетие число нанотехнологических публикаций в 21 раз и лишь немногим (на 25 %) уступивший США. Вместе с тем по числу полученных патентов Китай находится пока лишь на 20 месте. Ну а что же Россия? Научному сообществу нашей страны сильно не повезло. Прежде всего, потому, что оно в целом потеряло для интенсивной творческой работы почти целое десятилетие, последовавшее после распада СССР и мучительных поисков путей элементарного физического выживания. Разумеется, что это касалось не только развития нанотехнологий, но, прежде всего именно их, поскольку визуализация и контролируемое создание нанопродуктов требовало крайне дорогостоящего оборудования, которым наши исследователи в большинстве своем не располагали. Исключение составляли лишь те, кто сотрудничал с зарубежными коллегами, имевшими такое оборудование. В этой связи заслуживает одобрения инициатива РФФИ по поддержке международных грантов, позволивших эффективно использовать уникальное диагностическое оборудование научных центров ФРГ, Франции, Италии, Бельгии, Голландии, Японии, а в последнее время также и США. Достаточно вспомнить, что 8 лет назад в Москве не было ни одного функционирующего сквидмагнетометра, и молодым исследователям Московского университета пришлось (да и по сей день приходится) проводить измерения синтезированных ими магнитных нанокомпозиций в Иене (ФРГ). Тем более удивительно, что и в 90-е годы фундаментальные исследования, вносящие несомненный вклад в развитие нанотехнологий, не прекращались в России. Достаточно назвать научные группы, которые возглавляли Р.А. Андриевский, В.В. Болдырев, А.Л. Бучаченко, Р.З. Валиев, С.П. Губин, Б.В. Дерягин, А.Л. Ивановский, Ю.А. Котов, И.В. Мелихов, И.И. Минкин, А.Д. Помогайло, А.И. Русанов, И.П. Суздалев, А.Ю. Цивадзе и многие другие. В 1996 г. М.А. Ананяном был создан институт нанотехнологий, а в 2001 г. – концерн «Наноиндустрия».

Справедливости ради надо сказать, что после 2000 г. отечественные исследования в области нанотехнологий и наноматериалов заметно оживились. Этому способствовал ряд причин, среди которых немаловажным было плодотворное обсуждение этой проблемы в 2002 г. на заседании Президиума РАН, которому предшествовал постановочный научный доклад чл.-корр. И.В. Мелихова «Физико-химия наносистем – успехи и проблемы». В 2002 г. был создан Научный Совет по наноматериалам при Президиуме РАН (председатель акад. Н.П. Лякишев), а в программе фундаментальных исследований РАН выделено (правда, довольно ограниченное) финансирование работ по разделу «Фундаментальные проблемы физикохимии наноматериалов». Примерно в это же время началось финансирование инициативных проектов РФФИ по нанотехнологиям и наноматериалам, а также по отраслевым программам Минобороны, Минатома (Росатома), Роскосмоса, Минпромэнерго, что по приближенным оценкам в сумме составляло 20-25 млн. долларов/год и в 30 раз уступало размерам государственной поддержки нанотехнологий в США. Тем не менее, некоторые

академические, вузовские и отраслевые лаборатории были переориентированы на исследования в области нанотехнологий и наноматериалов, хотя большинство из них по-прежнему не располагало необходимым современным оборудованием. Достаточно сказать, что электронный микроскоп высокого разрешения HREM TECHNAI стоит около 4 млн. долларов, а чистая комната достаточно высокого класса – и того больше. Ситуация несколько улучшилась, когда в соответствии с постановлением Правительства № 540 от 12.10.2004 г. в федеральную целевую научно-техническую программу (ФЦНТП) «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники на 2002-2006 годы» были внесены существенные изменения, а в перечне приоритетов появилось направление «Индустрия наносистем и материалы», на поддержку которого было предусмотрено выделить из средств федерального бюджета в 2005 г. 2 млрд. рублей (около 70 млн. долларов), а в 2006 г. – 2.12 млрд. рублей (около 80 млн. долларов, с учетом изменения курса доллара). Рабочая группа экспертов, возглавляемая академиком М.В. Алфимовым, определила следующие приоритеты:

1. Углеродные наноматериалы.
2. Новые материалы и технологии для наноэлектроники, оптоэлектроники и спинтроники.
3. Органические и гибридные наноматериалы.
4. Полимеры и эластомеры.
5. Кристаллические материалы со специальными свойствами.
6. Мехатроника и микросистемная техника.
7. Композиционные и керамические материалы.
8. Мембраны и каталитические системы.
9. Биосовместимые материалы.
10. Нанодиагностика и зондовые методы.

Очевидно, что направление «Индустрия наносистем и материалы» объединяет две не вполне совместимые составляющие, из которых вторая включает многотоннажные продукты, такие как полимеры и эластомеры, композиты и керамику, кристаллические материалы на основе металлов и сплавов, а в определенной мере также мембраны и каталитические системы. Их технология помимо всего прочего базируется на использовании подходов макрокинетики, гидродинамики, тепло- и массопереноса, которые, как правило, не являются определяющими в процессе получения наноматериалов. Следовательно, указанное выше финансирование лишь частично относится к нанотехнологиям. Другая особенность, нередко вызывающая непонимание и недовольство научного сообщества, состоит в том, что оно воспринимает возможность получить финансовую поддержку в рамках ФЦНТП как конкурс на получение гранта, тогда как в действительности необходимо работать в рамках закона о госзакупках и скрупулезно выполнять требования заключенного контракта. Другое дело, насколько именно научные эксперты, а не чиновники определяют формулировку выставленных на торги лотов, которая нередко вызывает недоумение и даже подозрение в том, что она (эта формулировка) предопределяет победителя конкурса. Несомненный оптимизм вызывает то обстоятельство, что правительство Российской Федерации 6 июля 2006 г. утвердило концепцию ФЦНТП «Исследования и разработки по

приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», установив объем финансирования за счет федерального бюджета в объеме 134 млрд. рублей (примерно 5 млрд. долларов). Есть основания полагать, что в рамках этой суммы значительно возрастает господдержка приоритетного направления «Индустрия наносистем и материалы».

Напрашивается вопрос, насколько реально в России создание самостоятельной федеральной программы по нанотехнологиям и наноматериалам. Потребность в существовании такой программы была осознана научным сообществом давно, особенно после старта в США упомянутой выше «Национальной нанотехнологической инициативы». Но время шло, примеру США последовало около 50 стран, но среди них по-прежнему отсутствовала Россия. Многочисленные совещания и круглые столы, в том числе слушания в Госдуме и Совете Федерации однозначно высказывались в пользу открытия национальной нанотехнологической программы, но, как сказал один уважаемый физик: «Чтобы дожидаться открытия Нанопрограммы в России, надо быть бессмертным». Справедливости ради следует сказать, что Минобрнаукой с участием представителей заинтересованных ведомств в 2005 г. была разработана концепция развития нанотехнологий в России, далее была подготовлена рамочная «Программа развития в РФ работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года (национальная технологическая инициатива по развитию наноиндустрии)» и, наконец, составлен проект Федеральной целевой программы «Развитие исследовательской, инновационной и технологической инфраструктуры для наноиндустрии РФ на 2007-2009 годы». Реализация последней программы, по нашему мнению, была бы наиболее важным шагом, способным в достаточно короткий срок вооружить наше нанотехнологическое сообщество совершенно необходимым, но отсутствующим сейчас современным научным и технологическим оборудованием. Мы и так потеряли целое десятилетие и только чудо может спасти то, что кажется безвозвратно утерянным. Но такие чудеса случались и в России и за рубежом. Всякий раз они были связаны с появлением нового поколения исследователей в результате национального образовательного прорыва. Достаточно вспомнить о знаменитом атомном проекте, успешная реализация которого, впрочем, поставила США вне всякой конкуренции впереди остального мира. Однако потребовалось менее 10 лет, чтобы наша страна сумела успешно реализовать собственный атомный проект и стать могучей ядерной державой. Исключительно важный вклад в этот успех внесли выпускники МГУ и рожденного в его стенах по инициативе Нобелевского лауреата П.Л. Капицы и акад. С.А. Христиановича знаменитого Московского физтеха, впервые наиболее удачно соединившего фундаментальную и инженерную подготовку специалистов. Другой пример образовательного прорыва связан с космическим проектом. 12 апреля 1961 г., когда Ю. Гагарин первым побывал в космосе, стал днем поражения США, затративших 32 млрд. долларов на реализацию альтернативной программы «Апполон». И если 8 с небольшим лет спустя Нейл Армстронг первым ступил на поверхность Луны, то в этом

огромную роль сыграло решение бывшего в 1961 г. президентом США Джона Кеннеди кардинально перестроить подготовку специалистов-материаловедов в крупнейших американских университетах. Успешная реализация нанотехнологического проекта невозможна ни в одной стране, если ей не удастся подготовить или привлечь со стороны специалистов, хорошо владеющих одновременно знаниями в области математики, физики, химии, механики, биологии. Лишь междисциплинарная образовательная программа способна обеспечить нанотехнологический прорыв. Созданный в МГУ 15 лет назад Факультет Наук о Материалах может служить своеобразной моделью междисциплинарного естественно-научного образования, обеспечивающего многоуровневую подготовку материаловедов-исследователей, включая бакалавров, специалистов, магистров в направлении «Химия, физика и механика материалов», кандидатов и докторов наук по специальностям «Химия твердого тела», «Физика конденсированного состояния» и «Неорганическая химия». В 2003 г. Министерством образования РФ в порядке эксперимента в технических университетах было открыто образовательное направление «Нанотехнология» с введением двух специальностей: «Нанoeлектроника» и «Наноматериалы». В настоящее время подготовка по этим специальностям начата в таких вузах, как РХТУ им. Д.И. Менделеева, МВТУ им. Баумана, Санкт-Петербургском государственном технологическом институте, Санкт-Петербургском политехническом университете и других. Специальные образовательные программы по нанотехнологии разработаны и реализуются в ряде европейских стран, включая Германию, Данию, Швецию и Швейцарию. Вместе с тем ведущие американские университеты считают целесообразным вести подготовку специалистов по нанотехнологиям в рамках фундаментального материаловедения. В тесной связи с такой идеологией находится выраженное профессором Гарвардского университета Д. Вайтсайдом и полностью разделяемое автором представление о том, что при создании материалов с разнообразными свойствами наноразмерные фрагменты их структуры не всегда являются определяющим фактором. Для большинства материалов, особенно объемных, целесообразно рассматривать различные структуры от нанометровых до миллиметровых и понимать, что они тесно взаимосвязаны. В некоторых случаях определяющими являются фрагменты не нано-, а микрометровых размеров (например, фотонные кристаллы или клетки млекопитающих) и поэтому в общем случае речь идет не о наноматериалах, а о материалах с оптимальным размером фрагментов их структуры, определяющим функциональные или конструкционные свойства.

Итак, если мы сумеем сохранить то лучшее, что было заложено в отечественной системе университетского образования (прежде всего, его фундаментальность) и пополним последнее междисциплинарностью и способностью владеть современным синтетическим и диагностическим инструментарием, то появится надежда на возможность преодоления нашей страной нанотехнологического отставания.

Однако нельзя сбрасывать со счета, что нанотехнология в отличие от обычных технологий, как справедливо отметил И.В. Мелихов, отличается повышенной «наукоемкостью» и затратностью, в ней резко снижена вероятность решения задач методом «проб и ошибок», который традиционно используется в прикладных разработках. Поэтому путь от лаборатории к наноиндустрии несомненно более сложен, чем при промышленным созданием обычных продуктов. Если же учесть, что в России не удалось сохранить даже традиционные промышленные производства в тех объемах, которые существовали 15-20 лет назад, то ускоренное развитие наноиндустрии в нашей стране кажется утопией. Вряд ли на бизнес-сообщество может повлиять позиция главы правительства М. Фрадкова, породившего очередной незабываемый афоризм: «Если бизнес не пойдет в нанотехнологии, он пропустит все на свете и будет в лучшем случае в телогрейке работать на скважине, которой будут управлять и обслуживать наши друзья и партнеры». Есть основания сомневаться в том, что до тех пор, пока экстраприбыли будут обеспечиваться в нашей стране за счет нефтяного, газового и строительного бизнеса, кто-то предпочтет инвестировать средства в развитие инновационных производств типа наноиндустрии. В этом смысле ситуация за рубежом кажется несомненно более благоприятной. В США, Японии и Южной Корее частный бизнес инвестирует наноразработки в объеме, не уступающем бюджетной поддержке, причем за 5 лет – с 1999 по 2004 г. размеры частных инвестиций в наноиндустрию выросли в 10 раз. Быть может, одобренное Правительством РФ 10.08.2006 г. создание венчурных компаний на основе государственно-частного партнерства станет шагом вперед в развитии наноиндустрии. Пока же мне известен только один случай поддержки нанотехнологий со стороны коммерческих структур. Коммерческий банк «Юриаструм-Банк» спонсировал проведение Всероссийских конкурсов молодежных проектов в области нанотехнологий и издание научно-популярной книги М. Рыбалкиной «Нанотехнология для всех». И хотя в этой книге специалист найдет немало проколов и промахов, она, несомненно, окажет и уже оказала положительное влияние на формирование общественного мнения о нанотехнологиях, особенно среди поколения молодых. Организованное молодыми же аналитическое агентство Nanotechnology News Network предлагает через открытые им сайты новейшую информацию по нанотехнологиям для российских ([www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru)) и зарубежных ([www.nanonewsnet.com](http://www.nanonewsnet.com)) читателей.

Российский опыт преодоления барьеров на пути от нанонауки к промышленному созданию и коммерческому сбыту нанопроductов пока невелик. Одним из немногих примеров такой деятельности является концерн «Наноиндустрия» (генеральный директор М.А. Ананян), организовавший производство наноразмерных порошков на основе серпентитов – так называемых ремонтно-восстановительных составов (РВС), предназначенных для ремонта и восстановления до первоначальных параметров изношенных узлов и механизмов, работающих в режиме трения (двигатели внутреннего сгорания, металлорежущие станки, топливные насосы, турбокомпрессоры, все

виды горношахтного и металлургического оборудования). Созданный по РВС-технологии модифицированный высокоуглеродный защитный слой на поверхности трения при эксплуатации приводит к снижению потребления энергии, показателей вибрации и шума, а у двигателей – также содержания СО и сажи в выхлопных газах. Другим коммерческим продуктом деятельности концерна являются коллоидные растворы наночастиц серебра, обладающие высокой антибактериальной активностью и придающие биоцидные свойства краскам, лакам, пастам, моющим и дезинфицирующим средствам. М.А. Ананян был также инициатором создания журнала «Нанотехника», ставшего, по-видимому, первым российским периодическим изданием по нанотехнологии. Следующим таким изданием оказался журнал «Наноструктурное материаловедение», печатающий материалы на русском или английском языках. Наконец, можно ожидать, что в ближайшее время стартуют журналы «Российские нанотехнологии» (гл. редактор акад. М.В. Алфимов) и «Российский электронный наножурнал», в которых в роли учредителя выступает «Федеральное агентство по науке и инновациям».

Среди проблем, связанных с развитием нанотехнологий, реализуемая в США программа «Национальная нанотехнологическая инициатива» считает приоритетным анализ социальных последствий так называемой нанотехнологической революции. Речь идет о доступе к благам, которые возникают в результате развития наноиндустрии, ее позитивном влиянии на рынок труда и на прогресс медицины, а также о возможных негативных последствиях накопления нанопродуктов на здоровье человека и на окружающую его среду. Позитивные аспекты развития нанотехнологии уже сейчас широко рекламируются в печати и на телевидении. Для 120 млн. человек, ежегодно посещающих научные музеи США, в качестве пиар-акции предлагается экспозиция, посвященная развитию нанотехнологии. Передвижную выставку «Это – наномир» в 2004 г. увидели почти 800 тысяч посетителей, среди которых доминировали 8-13 летние дети. Разнообразные направления развития наномедицины включают биосенсорную нанодиагностику, наночастицы как средство доставки лекарств и новые формы лекарственных препаратов, создание нанороботов, наноинструментов и наноманипуляторов для медицинских целей и многое другое. Не меньшее внимание в США и в странах Европейского Союза уделяется изучению потенциального ущерба, который наноматериалы могут нанести здоровью человека и окружающей среде. Речь идет, прежде всего, о респираторных и легочных заболеваниях, включая рак легких. Любопытно, что в Белой книге, подготовленной под редакцией акад. В.Я. Шевченко по результатам Всероссийского опроса ученых, инженеров и производителей в области нанотехнологий, среди многочисленных направлений наноисследований, проводимых в России, отсутствует даже упоминание о возможных рисках и негативных социальных последствиях развития нанотехнологий и применения наноматериалов.

Есть ли у нас основания испытывать чувство удовлетворения нынешними темпами и состоянием

нанотехнологических разработок в России? Как уже отмечалось в начале этой статьи, после 2000 г. отечественные исследования в области нанотехнологий заметно оживились, но все познается в сравнении. Напомню написанную известным ученым и некогда любимую детскую сказку «Алиса в стране чудес», персонажам которой, чтобы оставаться на месте, надо было быстро-быстро бежать, а чтобы продвигаться вперед – бежать еще быстрее. Боюсь, что по причинам, изложенным выше, нам этого сделать пока не удалось. Достаточно сказать, что информационный вклад российских ученых в нанотехнологическую науку за последние 5-6 лет заметно снизился и составляет сейчас 1.5 % против 6 % в 2000 г. Еще в большей степени это касается числа международных патентов, полученных россиянами и особенно лицензионных выплат, которые в пересчете на 1 млн. жителей оказались в 100 раз меньше, чем в США. О скромности российского нанотехнологического вклада свидетельствует и наше участие в международных встречах-конференциях и конгрессах по нанотехнологии. Приведу в качестве примера Девятую Международную конференцию по нанонауке и технологии (9<sup>th</sup> International Conference on Nanoscience and Technology), проходившую с 30.07 по 5.08.2006 г. в Базеле (Швейцария). В этой конференции участвовало свыше 5 тыс. человек, включая четверых Нобелевских лауреатов. Из 600 с лишним устных докладов (а помимо них было еще 900 постеров), представленных на конференции учеными 30 стран, лишь 40 докладов имели российских соавторов, но и они в большинстве случаев представляли не российские, а зарубежные организации (феномен «утечки умов»). Лишь в 9 докладах в качестве соавторов фигурировали ученые, представлявшие российские университеты и академические институты и лишь один доклад из 600 был сделан учеными РФ без иностранного участия (его авторы – сотрудники Института физики полупроводников из Новосибирска и Института микроэлектроники и информатики из Ярославля). Извечный сакраментальный для российского менталитета, во всяком случае, со времен Н.Г. Чернышевского вопрос «Что делать?» заставляет автора предложить перечень первостепенных действий, которые надо совершить, чтобы заметно продвинуться вперед:

1. Осуществить отбор приоритетных направлений нанотехнологических разработок с учетом перспектив их дальнейшей коммерциализации, конкурентоспособности и востребованности, в первую очередь на внутреннем рынке, а также учитывая невозможность осуществления фронтального подхода, ориентированного на одновременное решение всех проблем нанотехнологии (как это делается в США).

2. В кратчайший срок оснастить отечественных исследователей новейшим (как правило, импортным) оборудованием, необходимым для синтеза и диагностики нанопродуктов, реализовав проект федерально-целевой программы «Развитие исследовательской и технологической инфраструктуры для наноиндустрии Российской Федерации» и предусмотренное в этом проекте создание национальной нанотехнологической сети, включая национальную лабораторию, научно-исследовательские центры и ЦКП.

3. Создать целостную образовательную систему подготовки нового поколения исследователей, материаловедов и технологов, обладающих междисциплинарными фундаментальными знаниями и владеющих новейшим синтетическим и диагностическим оборудованием, используемым в нанотехнологиях (по приближенным оценкам, в ближайшее десятилетие миру потребуется не менее 2-3 млн. специалистов, а, следовательно, по самым скромным масштабам в России их должно быть не менее 30 тысяч).

4. Организовать независимую сертификационную службу для выработки стандартов, метрологии и сертификации, способную объективно оценивать качество нанопродуктов.

5. Создать и реализовать целостную систему подготовки всего российского общества к переменам, связанным с фронтальным развитием нанотехнологий и использованием нанопродуктов, включая соответствующие школьные курсы, музейные экспозиции, выпуск научно-популярной литературы, телевизионные передачи, фестивали науки и прочее.

6. Разработать систему мер, обеспечивающих развитие нанобизнеса, в том числе устранение

таможенных сборов на экспорт нанотехнологического оборудования и введение льгот для потребителей и производителей нанопродукции.

Разумеется, что мы и сейчас не стоим на месте. В конце мая сего года РАН впервые пополнила свои ряды новыми членами, избранными по специальности «наноматериалы и нанотехнологии» в результате серьезного конкурсного отбора с ограничением возраста. В конце июня сего года принято решение об учреждении Российской Ассоциации Наноиндустрии. В июле вышел первый номер информационного бюллетеня «Нанометр», издаваемого в МГУ. В августе объявлен конкурс лотам в рамках приоритетного направления «Индустрия наносистем и материалы». Как тут не вспомнить когда-то популярный роман-хронику В. Катаева «Время, вперед», название которого как никакое другое, выражает пафос нанотехнологической эпохи.

*Акад. Ю.Д. Третьяков*

## **Партнеры ФНМ по ФЦНТП «Индустрия наносистем и наноматериалы»**

### **15 лет Научно-Техническому Центру специальной керамики**



*Д.т.н. Б.Л.Красный, ген. директор ЗАО «НТЦ Бакор»*

На рубеже 90-х годов прошлого века возникли объективные условия для разработки и производства новых огнеупорных изделий для печей стекольной промышленности. Огнеупорные изделия, которые выпускались в те годы для предприятий металлургического комплекса, не соответствовали возрастающим требованиям качеству этих изделий, т.к. предназначались, в основном, для предприятий черной и цветной металлургии, что не учитывало специфику стекольного производства. В соответствии с приказом МПСМ РСФСР № 23 от 13.01.89г. на Щербинском заводе электроплавленных

огнеупоров, на базе заводской научно-исследовательской лаборатории был создан научно-технический Центр «Бакор», призванный обеспечить прогресс в отечественном печестроении. Решением Щербинского Совета народных депутатов от 31.10.91г. № 33/20 было зарегистрировано ЗАО «НТЦ»Бакор». У истоков создания ЗАО «НТЦ»Бакор» стояли такие высокопрофессиональные специалисты, как, Рудаков Б.П., Мамочкин П.П., Красный Б.Л. Большую помощь в становлении Центра оказали начальник Главного Управления «Росстройтехстекло» МПСМ РСФСР Щукин В.С. и его заместитель по капитальному строительству Удилов Г.А. Основой любого предприятия являющиеся кадры. На начальном этапе развития основу коллектива составили специалисты ведущих предприятий СССР в области огнеупорных и керамических материалов, таких как Щербинский завод электроплавленных огнеупоров и НПО «Луч» г. Подольска.

Стратегический курс создания и развития Центра - разработка и внедрение в производство новых керамических жаростойких материалов, конкурентноспособных на мировом уровне.

Конечно, вопросы организации фирмы накладывали свои проблемы. Необходимо было не только создавать новые материалы и технологии изделий из них, но и найти заинтересованных потребителей. Один из главных принципов нашей работы – это постоянная обратная связь с техническими специалистами тех заводов, на которые мы поставляем свою продукцию. Их богатый опыт позволяют нам не стоять на месте и постоянно расширять ассортимент наших изделий и повышать их качество. С 1993 года начинается период роста потребности в нашей продукции предприятиями

стекольной промышленности, черной и цветной металлургии. Нами были разработаны и внедрены хромоксидные керамические (марки ХС-МВУ); хромаллюмоциркониевые (ХАЦ); хромкорундовые (ХКТ); корундомуллитоциркониевые (КМЦ); баделлитокорундовые (БКТ) огнеупоры и мертели различного состава. В 1995 году по заданию Минобороны ЗАО «НТЦ»Бакор» совместно с ФГУП «ВИАМ» приступили к выполнению работ по созданию огнеупорных тиглей для плавки жаропрочных сплавов, применяемых для изготовления турбинных лопаток авиационных двигателей. В результате была разработана технология изостатического формования тиглей марок ТП, ТК, ТКМЦ, ТМК и организовано их производство. Это исключило зависимость Российских предприятий оборонного комплекса от зарубежных поставок. В 1998 г. началось освоение принципиально новой продукции - фильтрующих элементов из керамики по заказу ОАО ГМК «Норильский никель». В настоящее время, мы производим до 90% объема всех выпускаемых в стране фильтрующих элементов из керамики для фильтрации: пульп гидрометаллургических производств и стоков электротехнических производств; пульп глиноземного производства; красителей; сгущения стоков оборотного водоснабжения; для очистки расплавов черных и цветных металлов от неметаллических включений;

## **Выпускники ФНМ в России**

### **ЛАБОРАТОРИЯ ИОНИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА ИПХФ РАН: ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Более 100 лет назад (еще в XIX веке) экспериментально было обнаружено явление высокой ионной проводимости в твердых телах, сравнимой с проводимостью растворов жидких электролитов. Интерес к твердым электролитам не случаен и обусловлен как фундаментальными причинами выявления природы суперионной проводимости и ее связи со структурой кристалла (что позволяет проводить целенаправленный синтез материалов с заданными свойствами как по типу проводимости, так и по виду проводящего иона), так и возможностью их дальнейшего технологического использования в твердотельных электрохимических устройствах, таких как химические источники тока, газовые сенсоры, электрохромные преобразователи, топливные элементы, электрохимические мембраны и т.д. Как в бывшем Советском Союзе, так и в России исследованием твердых электролитов занимались и продолжает заниматься большое количество научных коллективов, расположенных в Москве и Московской области, на Урале и в Сибири. Одной из таких научных групп является Лаборатория ионики твердого тела (ИТТ) Института проблем химической физики Российской Академии Наук (ИПХФ РАН).

Лаборатория ионики твердого тела основана в 1964 году по инициативе академика А.Н.Фрумкина

для очистки горячих технологических газов от пыли. С 2000 г. Центр принимает активное участие в конкурсных работах, предлагаемых Федеральным Агентством по науке и инновациям в области перспективных керамических материалов, наноматериалов и нанотехнологий. Мы успешно сотрудничаем с МГУ им.М.В.Ломоносова, РХТУ им.Д.И.Менделеева, МВТУ им. Н.Э.Баумана, МИСИС, МГУИЭ, институтом химической физики РАН, ОАО «Гипрохим», ФГУП «ВНИИНМ» им. А.А. Бочвара.

Серьезная конкуренция со стороны зарубежных фирм заставляет нас интенсифицировать научные разработки и исследования, непрерывно совершенствовать технологию с целью постоянного повышения качества выпускаемой продукции. Внедрение передовых технологий дали возможность нашему коллективу в 2003 году получить сертификат соответствия менеджмента качества требованиям ГОСТ-Р ИСО 9001-2001. За время работы Центром получено 50 патентов на изобретения, опубликовано 80 статей в научно-технических журналах и сделано более 50 докладов на международных конференциях. Центр стал ведущей организацией в стране по разработке и производству эффективных керамических жаростойких и коррозионностойких материалов и изделий, востребованных не только на Российском рынке, но и за рубежом.

в составе Института электрохимии АН СССР как Лаборатория электрохимии расплавленных солей под руководством профессора Е.А. Укше. В 1967 году лаборатория была переведена в Институт новых химических проблем Академии Наук (ИНХП АН) СССР (Черноголовка) Отделения физикохимии и технологии неорганических материалов АН СССР. Основные научные задачи, решавшиеся в области химии расплавленных солей, включали определение емкости двойного электрического слоя в расплавленных солях, исследование электрохимических процессов на границе металл/ионный расплав и изучение кинетики растворения хлора в расплавленных хлоридах.

Исторически сложилось так, что вместе с изменением научного направления исследований менялось и название лаборатории. С 1975 года лаборатория преобразована в Лабораторию электрохимии твердых электролитов. В рамках «твердоэлектролитной» тематики проводились исследования по поиску, синтезу и изучению свойств твердых электролитов с высокой проводимостью (суперионных проводников), получению неметаллических электродных материалов со смешанной электронно-ионной проводимостью (оксидные бронзы), изучению электрохимических процессов на границе электрод/твердый электролит. В результате был предложен ряд новых материалов с проводимостью по ионам  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cu}^+$  и  $\text{H}^+$ , были исследованы механизмы твердофазного синтеза и транспортные свойства  $\text{Na}^+$ -проводящих твердых электролитов (Na- $\beta$ -глинозем, NASICON), детально изучен механизм переноса протонов в большом классе кристаллогидратов гетерополиоксидов и их

солей с щелочными металлами. Кроме того, были разработаны способы количественного описания проводимости двухфазных (распределенных) и матричных структур суперионик-металл, суперионик-диэлектрик и поликристаллических суперионных проводников и модель адсорбционной релаксации двойного электрического слоя в твердых электролитах, а также исследован электрохимический импеданс ионных границ твердый электролит/жидкий электролит. В 1989 году лаборатория переименована в Лабораторию электрохимии сенсорных структур. Проводимые исследования были направлены на получение материалов для твердотельных электрохимических сенсоров, изучение проблем передачи информации в процессе превращения химической или механической энергии в электрическую в ионно-электронных структурах, а также разработку твердотельных сенсорных структур, позволяющих контролировать содержание  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO$  и  $CO_2$  в воздухе при комнатной температуре. С конца 2003 года и по настоящий момент лаборатория носит название Лаборатория ионики твердого тела.

В настоящее время в лаборатории ведутся научные исследования по следующим направлениям:

- Низкотемпературные катионпроводящие твердые электролиты и смешанные электронно-ионные проводники: синтез, исследование структуры и свойств.
- Протонпроводящие полимерные и композитные мембраны, суперпротоны: синтез, исследование структуры и свойств.
- Механизм ионного переноса в твердых телах: экспериментальное исследование и теоретическое моделирование.
- Поведение границ электронный (смешанный) проводник / твердый электролит в различных газовых средах.
- Аппаратура и методы исследования электродных процессов в системах на основе твердых электролитов.
- Полупроводниковые оксидные и халькогенидные электродные материалы: морфология поверхности, адсорбционные и химические процессы в поверхностных слоях.
- Низкотемпературные топливные элементы: получение и исследование свойств суперпротонных мембран, электродных материалов и электрохимических процессов.
- Низкотемпературные газовые сенсоры на основе твердых электролитов: создание макетных образцов и определение механизмов функционирования.

Для нормального функционирования лаборатории, а также проведения научных исследований требуется современное оборудование. Благодаря активной научной деятельности лаборатории ИТТ, ее проекты регулярно поддерживаются Российским Фондом Фундаментальных Исследований (РФФИ), а также федеральной целевой программой (ФЦП) «Интеграция» и рядом программ РАН.

Лаборатория сотрудничает с ИОНХ РАН (Москва), ИХТТМ СО РАН (Новосибирск), ИВТЭ УрО РАН (Екатеринбург), ИЭЛ РАН (Москва) и ведущими российскими ВУЗами: МГУ им. М.В.

Ломоносова (Факультет Наук о Материалах (ФНМ), Химический и Физический факультеты), Ростовским ГУ (Химический факультет), Саратовским техническим университетом. Следует отметить также сотрудничество с зарубежными научными организациями: ИФТТ РГУ (Рига, Латвия), Вильнюсский университет (Литва), Институт атомных и молекулярных исследований (Тайвань), Институт физики Академии наук Словакии и международными научными обществами: [International Electrochemical Society](http://www.ise-online.org) (<http://www.ise-online.org>) и [Solid State Ionics](http://www.issi.org) (<http://www.issi.org>), а также с рядом ведущих мировых компаний: Samsung (Корея) и General Motors (США). Благодаря кооперации совместно с рядом ведущих исследовательских организаций Москвы (МГУ им. М.В. Ломоносова, ИОНХ РАН, ИФХиЭ РАН, «МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского), Санкт-Петербурга (ФТИ РАН), Екатеринбурга (ИВТЭ УрО РАН) и Новосибирска (ИХТТМ СО РАН) в 2005 году лаборатория ИТТ получила крупный исследовательский грант от ООО «Национальная инновационная компания "Новые энергетические проекты"», направленный на разработку материалов и компонент для низкотемпературных топливных элементов, а также источников хранения водорода.



*Потенциостат PS-7М и импедансметр Z2000, разработанные и выпускаемые ООО «Элинс»*

Еще одним перспективным направлением, которое активно развивается фирмой ООО «Элинс» ([www.elins.ru](http://www.elins.ru)), созданной на базе лаборатории ИТТ, является разработка и производство оборудования для электрофизических измерений (импедансметры и потенциостаты), стендов и ячеек для тестирования топливных элементов, а также сенсоров водорода. На данный момент в продаже уже имеются 5 видов потенциостатов (PS-7М, PS-8, PS-9, PS-10), импедансметры (Z350m, Z2000). Данные приборы собираются на самой современной элементной электронной базе, полностью автоматизированы и подключаются к персональному компьютеру через COM-порт или шину USB, имеют небольшие габариты и малый вес, удобны и просты в эксплуатации, и, главное, обладают в несколько раз

меньшей стоимостью по сравнению с западными аналогами со схожими рабочими характеристиками. Помимо этого, программы управления приборами позволяют в реальном времени осуществлять мониторинг экспериментальных результатов в графическом режиме. Такими приборами полностью оснащена лаборатория ИТТ, а также ряд лабораторий, с которыми ведутся совместные работы по проектам. Кроме электрофизического оборудования, лаборатория хорошо оснащена целым комплексом другого лабораторного оборудования: ЯМР-спектрометр, синхронный термический анализатор STA 409 PC Luxx® (Netsch) с ИК-спектрометром для анализа входящих газов Bruker Optics IFS 66 series, ИК-спектрофотометр UR-20, спектрометр KP Coderg PH 0, Оже и рентгеновский фотоэлектронный спектрометр PHI - 551A, оборудование для исследования механических свойств DMA 242 C, термопрессы Carver (модели 3985 и 4122), анализатор удельной площади поверхности NOVA Quantachrome 3200, шаровая мельница Fritsch Pulverisette 7, сухой бокс MBraun MB10, центрифуга MLW T23, роторный испаритель Laborota 4000, сушильные шкафы Binder FD53, а также высокотемпературные муфельные печи ЧОЛ 6/11, 6/12, 6/16. Наличие такой приборной базы обеспечивает возможности как для обучения студентов и аспирантов, так и для проведения исследований на самом высоком научном уровне.



*Зав. лаб. ИТТ Добровольский Ю.А. с аспирантами и молодыми сотрудниками лаборатории*

На данный момент в лаборатории работают свыше 40 человек, из которых половина - научные сотрудники и инженерный состав, а другая половина - студенты ФНМ и Химического факультета МГУ и аспиранты ИПХФ РАН. Поэтому средний возраст сотрудников лаборатории не превышает 30-35 лет. Большое внимание в лаборатории уделяется воспитанию молодого поколения, в связи с чем подготовка будущих студентов и знакомство их с лабораторией начинается уже со школьной скамьи. В

2-х школах города Черноголовки (СИ № 75 и 82) созданы специализированные классы, в которых профилирующие предметы (математика, химия, физика) преподают сотрудники ИПХФ РАН и, в частности, лаборатории ИТТ. Такой подход позволяет обеспечить практически 100% поступаемость абитуриентов в любой ВУЗ нашей страны. Кроме того, при непосредственном участии студентов и аспирантов лаборатории организуются и проводятся предметные олимпиады среди школьников г. Черноголовка.

Работа в лаборатории для студентов начинается уже с первого курса. В результате к окончанию ВУЗа лаборатория получает отлично подготовленных сотрудников, имеющих обширную теоретическую подготовку и навыки самостоятельной работы на современном научном оборудовании. Сотрудниками лаборатории ИТТ для студентов подмосковного филиала МГУ им. М.В. Ломоносова читается спецкурс «Химия ионопроводящих соединений», проводятся семинарские и практические занятия на базе лаборатории. Ежегодно довольно большое количество студентов старших курсов ФНМ и Химического факультета МГУ проходят производственную практику в лаборатории, некоторые даже остаются на выполнение дипломной работы после прохождения практики. Кроме того, сотрудники лаборатории активно участвуют с

приглашенными докладами на ежегодной Школе-семинаре «Актуальные проблемы современной неорганической химии и материаловедения» (организуемой ФНМ МГУ, Химическим факультетом МГУ и филиалом НИИЯФ МГУ (г. Дубна)), где помимо обзорных докладов, посвященных сенсорам, твердым электролитам и смешанным проводникам, студенты могут познакомиться с последними научными достижениями лаборатории ИТТ.

Возвращаясь к истории лаборатории, следует сказать, что значительный период времени (около 30 лет), начиная с ее основания, ею руководил замечательный человек и выдающийся ученый доктор химических наук, профессор Евгений Александрович Укше (1928–1993). Почти все годы работы Евгения Александровича, начиная с 1968 г., были посвящены созданию электрохимии твердых электролитов: исследованию связи транспортных

свойств с особенностями кристаллической структуры, изучению поведения границы электрод/суперионик методом электрохимического импеданса. К самым важным результатам этих исследований можно отнести количественную модель релаксации двойного электрического слоя в твердых электролитах, основанную на предположении о медленной адсорбции ионов жесткой решетки; модель гетерогенных структур на основе твердых электролитов; открытие и

экспериментальное доказательство зависимости работы выхода электрона из суперионика от природы электрода; транслирование одного электрода на кинетические характеристики другого через электронную подсистему суперионика; доказательство существования виртуальных протонов в гидратах средних солей гетерополикислот.

Последнее пятилетие научной деятельности Евгения Александровича было посвящено электрохимической сенсорике. Это направление тесно связано с одной из фундаментальных проблем естествознания – существованием энергоинформационного обмена многофазных структур с окружающей средой, при котором химические реакции на фазовой границе газ/твердое тело изменяют энергетические и физико-химические характеристики твердой структуры. Под руководством Евгения Александровича было создано новое поколение твердотельных электрохимических газовых сенсоров типа каталитический электрод/твердый электролит/твердый опорный электрод. После ухода из жизни Евгения Александровича лабораторию возглавил Юрий Анатольевич Добровольский, который с 1995 года (уже более 10 лет) является ее заведующим.



*Д.х.н., проф. Ушке Евгений Александрович, заведующий лабораторией с 1964 по 1993 годы*

Это было нелегкое как для лаборатории, так и для российской науки, в целом, время, когда резко снизились финансирование, и довольно большое количество научных коллективов и институтов вынуждены были закрыться из-за отсутствия средств для поддержания нормальной работы. Однако за это время он сумел не только сохранить ту научную школу, которую создал Евгений Александрович, но и

воспитать и подготовить новое поколение молодых ученых, у троих из которых в этом году состоится защиты кандидатских диссертаций. Благодаря активной научной деятельности Юрия Анатольевича и его сотрудников, в лаборатории полностью обновился парк научного оборудования, при этом изменилось не только оснащение, но и внешний вид лаборатории после проведения в ее помещениях капитального ремонта. Кроме того, дирекция института в лице директора ИПХФ РАН академика



*Директор ИПХФ РАН академик С.М. Алдошин (слева) обсуждает с зав. лабораторией ИТТ Ю.А. Добровольским (справа) программу первого всемирного конгресса «Альтернативная энергетика и экология», проходившего с 21 по 25 августа 2006 года на теплоходе «Георгий Жуков»*

Сергея Михайловича Алдошина также оказывает всестороннюю поддержку лаборатории и всячески способствует налаживанию сотрудничества между лабораторией ИТТ с международными исследовательскими центрами в рамках научных направлений, которые успешно развиваются в лаборатории.

Ко всему сказанному следует добавить, что лаборатория заинтересована в сотрудничестве, как с научными, так и промышленными организациями, и как заведующий лабораторией Юрий Анатольевич всегда готов встретиться и обсудить возможности совместной работы. Связаться с ним можно по электронной почте: [doabr@icp.ac.ru](mailto:doabr@icp.ac.ru), либо по телефону 8(496)522-16-57. Более подробную информацию о лаборатории и ее сотрудниках можно узнать на сайте: <http://www.lssi.ru>. Адрес лаборатории: 142432, Московская область, Ногинский район, г. Черноголовка, ИПХФ РАН, Лаборатория ионики твердого тела.

*К.х.н. Лысков Н.В. (выпускник ФНМ МГУ 2005 г.)*

## Выпускники ФНМ зарубежом ЕВРОПЕЙСКИЙ ЦЕНТР СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Европейский центр синхротронного излучения – European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) – расположен в Гренобле, «столице Альп». Это международная организация, финансируемая 18 странами. Россия членом организации не является. ESRF – самый мощный источник синхротронного излучения в Европе; каждый год несколько тысяч исследователей приезжают в Гренобль для проведения экспериментов.



*Босак Алексей Алексеевич, 1976 г.р., диплом INPG, Франция – 1998, диплом ВКХМ МГУ – 1999, кандидат химических наук, Россия – 2002, доктор материаловедения, Франция – 2003, научный сотрудник лаборатории неупругого рассеяния рентгеновского излучения (ESRF)*

Здесь физики работают бок о бок с химиками и материаловедами, в их ряды все активнее вливаются биологи, врачи, метеорологи, геофизики и археологи. Растет число запросов от индустрии, особенно в областях микроэлектроники и фармацевтики.

ESRF делит территорию с институтом Лауэ-Ланжевена (ILL), обладателем самого мощного нейтронного реактора в мире, Европейским институтом молекулярной биологии (EMBL) и Объединенным подразделением структурной биологии (PSB). Расположение синхротрона также

привлекает посетителей, многие из них задерживаются в окрестностях после эксперимента, особенно во время лыжного сезона. Поскольку Россия не является членом консорциума, для аспирантов путь в ESRF почти полностью закрыт, однако на вакансии научных сотрудников претендовать вполне реально. На настоящий момент в ESRF трудятся не менее 15 выходцев из СССР.

### ESRF в числах

**бюджет 2004 года – 74 млн. Евро, основные пайщики – Франция, Германия, Италия, Великобритания (82% бюджета)**  
**штат – 600 человек, рабочие станции – 40, посетители – 3500 чел./год эксперименты – 1600 в год, длина накопительного кольца – 844 м, энергия электронов – 6 GeV**

### Основные направления активности

**Макромолекулярная кристаллография**  
**Резонансное рассеяние и спектроскопия высокого разрешения**  
**Исследование поверхностей и границ раздела**  
**Soft Condensed Matter**  
**Рентгеновский имиджинг**  
**Материаловедение**  
**Рентгеновское поглощение и магнитное рассеяние**  
**Рентгеновская оптика**



*Вид синхротронного кольца сверху*

С конкретными примерами можно ознакомиться в ежегодниках  
[www.esrf.fr/UsersAndScience/Publications/Highlights](http://www.esrf.fr/UsersAndScience/Publications/Highlights)

**Заявки на машинное время проходят конкурсный отбор. Сбор заявок производится дважды в год, граничные даты – 1 сентября и 1 марта. Для долгосрочных проектов сроки несколько отличаются. Детальная информация**  
[www.esrf.fr/UsersAndScience/UserGuide/Applying/](http://www.esrf.fr/UsersAndScience/UserGuide/Applying/)

## Зарубежные партнеры ФНМ

**RWTH-NanoClub**  
Promotion of Science and Technology

<http://www-zhv.rwth-aachen.de/index.html>

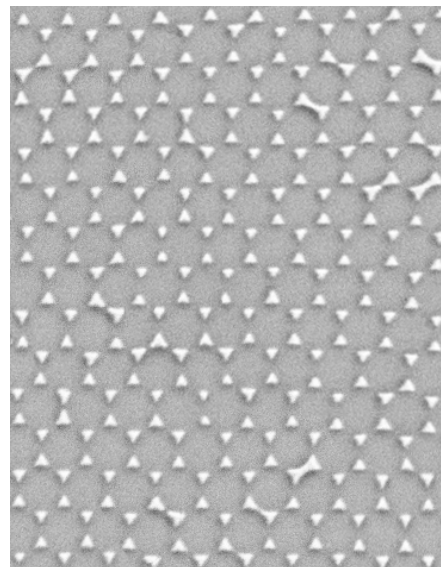
<http://www.nanoclub.rwth-aachen.de/>

<http://www.iac.rwth-aachen.de/extern/ak-simon/index.html>

Прошедшим летом в течение двух месяцев аспирант Факультета Наук о Материалах Александр Синицкий и студентка 6 курса ФНМ Ольга Петрова проходили стажировку в г. Аахен (Германия) в Рейнско-Вестфальской Технической Высшей Школе (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, RWTH). Несмотря на название, RWTH имеет статус университета и является одним из лучших технических учебных заведений Германии. Аспиранты ФНМ работали на химическом факультете RWTH под руководством проф. Ульриха Симона (Prof. Ulrich Simon). А. Синицкий занимался получением упорядоченных систем наночастиц методом наносферной литографии (nanosphere lithography).



Аспирант ФНМ А.С.Синицкий, группа фотоники.



Метод подразумевает упорядочение субмикронных коллоидных микросфер на поверхность монокристаллического кремния, напыление требуемого материала в пустоты между шариками и удаление микросфер на последнем этапе.

Электронно-микроскопическое изображение упорядоченных наночастиц хрома размером 60 нм приведено на рисунке. Указанным методом были получены аналогичные системы наночастиц золота, кремния и оксида цинка. О. Петрова занималась синтезом магнитных наночастиц  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  со средним диаметром 3-4 нм и узким распределением по размерам, перспективных для использования в магнитной гипертермии. В целом, поездка получилась весьма плодотворной. На основании проделанной работы уже готовятся совместные публикации. Факультет наук о материалах рассчитывает на развитие долгосрочного сотрудничества.



В Аахенском центре по исследованию процессов кристаллизации в космическом пространстве (ACCESS Materials&Processes, Intzestr. 5, D-52072, Germany, Tel. +49-(0)241-80-98014, fax +49-(0)241-38578) уже долгое время проводится разработка современного программного

обеспечения MICRESS для моделирования микроструктурных аспектов кристаллизации методом фазового поля (Phase Field method, пример выше дан для дендритной кристаллизации, цветом представлены концентрационные профили компонентов). Подробности можно узнать на сайте <http://www.micress.de/>. Контакты - [support.micress@access.rwth-aachen.de](mailto:support.micress@access.rwth-aachen.de), а также Prof. Georg J. Schmitz ([g.j.schmitz@access.rwth-aachen.de](mailto:g.j.schmitz@access.rwth-aachen.de)).

119992, Москва, Ленинские Горы, ФНМ МГУ им. М.В.Ломоносова,  
тел. (495)-939-20-74, факс (495)-939-09-98

**НАНОМЕТР-форум:**

[goodilin@inorg.chem.msu.ru](mailto:goodilin@inorg.chem.msu.ru) (чл.-корр. Е.А.Гудилин, контакты)

[yudt@inorg.chem.msu.ru](mailto:yudt@inorg.chem.msu.ru) (акад. Ю.Д.Третьяков, гл. редактор)

[metlin@inorg.chem.msu.ru](mailto:metlin@inorg.chem.msu.ru) (в.н.с. Ю.Г.Метлин, отв. редактор)